

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Исследовательская школа химических и биомедицинских технологий

Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Синтез лактида из олигомеров молочной кислоты

УДК 661.1'075:661.733.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
9ДМ81	Репкин Дмитрий Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШХБМТ	Новиков В.Т.	к.х.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Горбенко М.В.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 18.04.01 Химическая технология	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Пестряков А.Н.	д.х.н.		

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код	Результат обучения
Универсальные компетенции	
P1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
P2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
P3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
P4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
P5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
P6	Способен определить и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные и профессиональные компетенции	
P7	Способен использовать глубокие естественно-научные, математические и инженерные знания в области современных технологий химического производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P8	Способен формулировать и решать научные задачи, проводить теоретические и экспериментальные исследования в области создания новых соединений, материалов и изделий биомедицинского назначения и их физико-химического анализа, с использованием современных подходов к обработке и анализу информации
P9	Способен оптимизировать химико-технологические процессы и управлять ими для создания новых соединений, материалов и изделий биомедицинского назначения и их физико-химического анализа, конкурентоспособных на мировом рынке, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды в качестве члена и/или руководителя коллектива
P10	Способен осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Исследовательская школа химических и биомедицинских технологий

Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

18.04.01 Химическая технология

_____ С.В Романенко

09.03.2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
9ДМ81	Репкин Дмитрий Сергеевич

Тема работы:

Синтез лактида из олигомеров молочной кислоты	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	24.01.2020, №24-51/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Лактид из олигомеров молочной кислоты
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Аналитический обзор литературы Объекты и методы исследования Экспериментальные данные и их обсуждение Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение о работе

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Графический материал полученных результатов; презентация
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Якимова Т.Б.
«Социальная ответственность»	Горбенко М.В.
«Английский язык»	Устюжанина А.К.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

На русском языке: Литературный обзор, экспериментальная часть

На английском языке: Literature review, experimental part

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	09.03.2020 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШХБМТ	Новиков В.Т.	к.х.н., доцент		09.03.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
9ДМ81	Репкин Д.С.		09.03.2020 г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
9ДМ81	Репкин Дмитрий Сергеевич

Школа	Исследовательская школа химических и биомедицинских технологий		
Уровень образования	Магистр	Направление	18.04.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ»
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент- 1.3; - накладные расходы – 16%; - норма амортизации 20%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общий налоговый режим. Отчисления во внебюджетные фонды – 30.2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Построение оценочной карты для сравнения конкурентных разработок. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта. Определение затрат на проектирование (смета затрат)
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Причинно-следственная диаграмма Исикавы
Иерархическая структура работ по проекту

Диаграмма Ганта работ по проекту Сетевой план-график проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.03.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
9ДМ81	Репкин Д.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
9ДМ81	Репкин Дмитрий Сергеевич

Школа	Исследовательская школа химических и биомедицинских технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология/ Перспективные химические и биомедицинские технологии

Тема ВКР:

«Синтез лактида из олигомеров молочной кислоты»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – лактид из олигомеров молочной кислоты. Рабочая зона – научно-исследовательская лаборатория Научного Парка НИ ТПУ. Область применения лактида – биомедицина, упаковочные материалы. Прибор – роторный испаритель Heidolph, установка для вакуумной перегонки. Методика – поликонденсация, деполимеризация. Алгоритм: приготовление реакционных масс, синтез, отбор проб для аналитического контроля, обсуждение результатов
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	

Продолжение таблицы

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда» Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред. от 10.07 2012 г.) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности» Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Работа с вредными и опасными химическими веществами. Повышенный уровень шума. Отклонение параметров микроклимата. К опасным факторам относят оборудование с повышенной или пониженной температурой поверхности, токоведущие части электрооборудования, повышенное значение напряжения в электрической цепи, возникновение пожара.</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Влияние вредных веществ, которые используются во время эксперимента, на окружающую среду (хлороформ, метанол); Загрязнение сточных вод в результате удаления отходов в канализационную сеть;</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>При разработке и эксплуатации проектируемого решения возможны ЧС: пожар, взрыв, производственная авария.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Горбенко М.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
9ДМ81	Репкин Дмитрий Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 114 с., 20 рис., 30 табл., 61 источник, 1 прил.

Ключевые слова: молочная кислота, лактид, полилактид, биоразлагаемые полимеры, олигомер молочной кислоты, деполимеризация, модифицированный олигомер молочной кислоты.

Объектом исследования является получение лактида из модифицированного олигомера молочной кислоты.

Цель работы – получение лактида из модифицированного олигомера молочной кислоты для медицинских изделий.

В процессе исследования проводились исследования по более активному катализатору при синтезе олигомера молочной кислоты. Также проводились исследования модификатора для олигомера, с целью получения наибольшего процента выхода лактида-сырца.

В результате исследования был подобран наиболее активный катализатор для синтеза олигомера молочной кислоты, подобран модификатор, который существенно увеличил процентный выход лактида-сырца.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: роторный испаритель для синтеза ОМК, установка для вакуумной перегонки лактида-сырца.

Степень внедрения: результаты данной выпускной квалификационной работы могут быть использованы для основы дальнейшего исследования поведения модификаторов в синтезе олигомера молочной кислоты, и его дальнейшей деполимеризации для получения более высокого процента выхода лактида-сырца.

Область применения: медицинские изделия для создания имплантатов, скаффолдов, шин, хирургические нити, брекетов, зажимов, хирургических масок и перевязочных материалов. В промышленности пластиковые тары, пакеты, мешки.

Экономическая эффективность/значимость работы: изделия из лактида являются коммерчески привлекательным проектом, в связи с тем, что востребованность на мировом рынке в лактиде с каждым годом возрастает.

В будущем планируется дальнейшее изучение процесса синтеза лактида и полилактида, а также расширение области применения данного полимера.

Определения, сокращения, обозначения

PLA – полилактид

МК – молочная кислота

ОМК – олигомер молочной кислоты

ГХ – газовая хроматография

ГПХ – гель-проникающая хроматография

ММ – молекулярная масса

Оглавление

Введение	8
1 Литературный обзор.....	10
1.1 Классификация полимеров, основные характеристики и свойства.....	10
1.2 Низкомолекулярные соединения.....	11
1.3 Высокомолекулярные соединения	12
1.4 Биоразлагаемые полимеры	13
1.4.1 Применение биоразлагаемых полимеров.....	14
1.5 Полилактид	15
1.6 Молочная кислота	16
1.7 Лактид	17
1.8 Теоретические основы физико-химических методов анализа	20
1.8.1 Газовая хроматография	20
1.8.2 Гель-проникающая хроматография.....	20
2 Экспериментальная часть	22
2.1 Характеристика используемого сырья.....	22
2.2 Лабораторная техника	22
2.2.1 Роторный испаритель для синтеза ОМК.....	22
2.2.2 Установка для синтеза лактида-сырца	23
2.3 Методики проведения экспериментов	24
2.3.1 Методика получения олигомера молочной кислоты.....	24
2.3.2 Методика получения лактида-сырца.....	26
2.3.3 Методика аналитического контроля полученных образцов	26
2.4 Обсуждение результатов.....	27
2.4.1 Синтез ОМК.....	28
2.4.2 Деполимеризация ОМК.....	30
Вывод	32
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	35
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	35
3.2 Диаграмма Исикавы	35
3.3 SWOT-анализ.....	37
3.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	38

3.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	40
3.6 Инициация проекта	41
3.6.1 Цели и результаты проекта	41
3.6.2 Организационная структура проекта	43
3.6.3 Ограничения и допущения проекта.....	43
3.7 Планирование управления научно-техническим проектом	44
3.7.1 Иерархическая структура работ проекта	44
3.7.2 Контрольные события проекта	45
3.7.3 План проекта.....	45
3.7.4 Бюджет научного исследования	54
3.8 Организационная структура проекта	58
3.9 Матрица ответственности	58
3.10 План управления коммуникациями проекта.....	59
3.11 Реестр рисков проекта	59
3.12 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	60
3.12.1 Оценка сравнительной эффективности исследования	60
4 Социальная ответственность	64
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	64
4.1.1 Организационные вопросы по компоновке рабочей зоны	65
4.2 Производственная безопасность	65
4.3 Охрана окружающей среды	74
4.4 Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях	75
Заключение	78
Список публикаций.....	79
Список используемых источников.....	80
Приложение А	86

Введение

Основной проблемой использования полимеров из нефтехимического сырья является их химическая и биологическая устойчивость, что негативным образом сказывается на экологическом состоянии. В России объем полимерных отходов составляет около 750 тыс. тонн в год, при этом лишь 3...10% перерабатываются. Поэтому, разработка полимерных материалов, способных к быстрой деградации и разложению в природной среде является крайне перспективным направлением.

Одним из таких биополимеров является полилактид. Это биоразлагаемый, термопластичный полимер, получаемый поликонденсацией L-молочной кислоты.

Применение данного полимера весьма широкое. Данный полимер используют изготовления медицинских изделий. Такие изделия подвергаются влиянию биологической среды организма. PLA используется для создания имплантатов, скаффолдов, шин, хирургические нити, брекетов, зажимов, хирургических масок и перевязочных материалов. А также как способ доставки лекарств.

Для получения полилактида необходимо получить лактид-сырец, который синтезируется различными методами, но в основном это происходит с помощью олигомера молочной кислоты с дальнейшей деполимеризацией.

Актуальность работы состоит в создании методики получения модифицированного олигомера молочной кислоты (м-ОМК), с дальнейшей деполимеризацией для выхода лактида-сырца высокой чистоты.

Цель: получение лактида из модифицированного олигомера молочной кислоты

Задачи: синтез м-ОМК с использованием силикагеля в качестве катализатора, а также использованием карбоновых кислот в качестве модификаторов ОМК для получения лактида-сырца большей чистоты; отработка методики получения лактида-сырца путем деполимеризации ОМК;

отработка методик аналитического контроля процессов синтеза лактида с помощью физико-химических методов анализа полученных ОМК, лактида-сырца.

1 Литературный обзор

1.1 Классификация полимеров, основные характеристики и свойства

Основными характеристиками полимеров являются:

1. Химический состав;
2. Молекулярная масса химических звеньев (как одного звена, так и всей молекулы);

3. Количество мономеров в молекуле (степень полимеризации);

4. Молекулярно-массовое распределение;

Классифицируют полимеры по следующим критериям:

1. Молекулярная масса:

- олигомеры (ММ менее 5000);
- полимеры (ММ 5000-500000).

2. Разветвленность молекул:

- линейные (цепочка мономеров);
- разветвленные (цепочка, имеющая боковое ответвление);
- сшитые (соседние макромолекулы соединены поперечными связями).

3. Состав мономера:

- гомополимеры (один вид звена);
- сополимеры (разные строения звена).

4. Структура полимера:

- кристаллическая;
- аморфная (малое содержание кристаллических структур, сетчатые полимеры);
- аморфно-кристаллическая (25-70% содержание кристаллических структур).

5. Химический состав: органические и неорганические полимеры.

К свойствам полимеров относят:

1. Механические:

- эластичность;
- хрупкость (кристаллические и стеклообразные полимеры);
- ударная вязкость;
- прочность.

2. Оптические: некоторые используются в качестве матриц в среде усиления твердотельных лазеров на красителях, также известных как твердотельные лазеры на легированных красителями полимерах. Эти полимеры имеют высокое качество поверхности, а также обладают высокой прозрачностью, поэтому в лазерных свойствах преобладает лазерный краситель, используемый для легирования полимерной матрицы. Важным оптическим параметром в полимере, используемом в лазерных применениях, является изменение показателя преломления с температурой.

3. Химические: диполь-дипольные связи боковых цепей обеспечивают полимеру высокую гибкость. Силы Ван дер Ваальса связывающие цепи в полимере, являются слабыми, что дают ему низкую температуру плавления.

1.2 Низкомолекулярные соединения

Олигомеры представляют собой низкомолекулярные полимеры, содержащие небольшое количество повторяющихся звеньев, физические свойства которых в значительной степени зависят от длины цепи. Олигомеры являются, по существу, промежуточными продуктами реакции полимеризации, которые находят широкое прямое применение в материаловедении. Ступенчатая полимеризация происходит по одной стадии за один раз посредством ряда простых органических реакций, таких как реакции присоединения-элиминирования, используемые для получения сложных полиэфиров и полиамидов, или присоединения к множественным связям, используемым для получения полиуретанов и полиалкиленсульфидов. Деполимеризация высокополимеров и химическая

модификация олигомерных соединений являются дополнительными путями синтеза олигомеров [1].

1.3 Высокмолекулярные соединения

Высокмолекулярные соединения представляют собой молекулы соединенные между собой множеством мономеров. Такие молекулы называют полимерами. Значение «полимер» происходит от греческого слова «много частей» [2]. В некоторых случаях полимеры образуют разветвленные, а не отдельные цепи. Независимо от их формы молекулы очень большие. На самом деле они настолько велики, что ученые классифицируют их как макромолекулы.

Полимерные цепи могут включать сотни тысяч, а то и миллионы атомов. Более длинная полимерная цепь, образует длинные полимеры наделяя материал свойствами, такие, как более высокая температура плавления и прочность. Длинная цепь также делает полимер более вязким, в силу их площади поверхности, что заставляет их прилипать к соседним молекулам [3]. В синтетических полимерах каждое звено цепи будет идентично соседнему, в то время как у природных полимеров звенья будут различаться.

Шерсть, хлопок и шелк это природные полимерные материалы, которые использовались с древних времен. Целлюлоза, основной компонент древесины и бумаги, также является природным полимером. Другие включают молекулы крахмала, полученные из растений. Также в природе встречаются неорганические полимеры, связанные в сеть придающим им твердость и прочность, это графит и алмаз [4].

Химическая связь это то, что удерживает атомы в молекуле и в некоторых кристаллах. Атомы, которые обычно образуют только две химические связи, такие как кислород, не часто образуют длинные полимерные цепи. Поскольку многие атомы, которые являются частью основной цепи полимера, обычно имеют по меньшей мере одну боковую группу, элементы, которые обычно появляются в полимерной цепи, являются

такими, которые становятся стабильными с четырьмя связями, такими как углерод и кремний [5].

Некоторые полимеры являются гибкими, другая часть очень жесткие. Например, пластмассы, материал в гибкой бутылке для газировки очень отличается от материала в жесткой трубе из поливинилхлорида (ПВХ), который изготавливается путем связывания длинных цепочек мономеров. Он состоит из двух атомов углерода, трех атомов водорода и одного атома хлора [6, 7].

Проблемой всех синтетических полимеров, из которых изготавливаются пластиковые тары, покрышки от колес, пакеты [8] является их огромное скопление. Это загрязняет планету, поэтому в современном мире, где стоит проблема утилизации синтетических полимеров разрабатываются биоразлагаемые полимеры.

1.4 Биоразлагаемые полимеры

Отходы упаковки от не биоразлагаемых полимеров, стали значительной частью твердых бытовых отходов, что приводит к росту экологических проблем. Упаковочный материал также является очевидным источником мусора, что создает серьезную проблему для обращения с отходами. Среди этих материалов полиэтилен является наиболее часто используемым полимером для упаковки на нефтяной основе [9].

Процесс разложения, после захоронения для пластика или других типов полимеров на нефтяной основе чрезвычайно трудный, что создает различные уровни загрязнения почвы на длительный срок. Для решения данной проблемы большое внимание было уделено разработке биоразлагаемых полимеров из возобновляемых ресурсов, что также обусловлено глобальной экологической проблемой. Разложение биоразлагаемых полимеров, расположенных в биоактивных средах (свалки), происходит благодаря микроорганизмам (бактериями, грибами) посредством процессов ферментативного катализа. Полимерные цепи могут также разрушаться

неферментативными процессами, такими как химический гидролиз. Конечные продукты биоразлагаемых полимеров, как правило, включают CO_2 , CH_4 , воду, биомассу и другие природные вещества, которые имеют отношение к потенциальным преимуществам для баланса парникового эффекта и другим воздействиям на окружающую среду.

Биополимеры происходят из различных природных составляющих: крахмал, целлюлоза, хитозан и белки растительного и животного происхождения. Эти природные полимеры являются привлекательными альтернативами для биоразлагаемых и пластиковых упаковок на основе нефти или синтетических материалов благодаря их экологичности. Наиболее распространенные биоматериалы, на сегодняшний день – целлюлоза и крахмал, в связи с их возобновляемостью, дешевизной [9].

Биоразлагаемые полимеры могут быть классифицированы на различные типы в соответствии с процессами их синтеза и источниками, которые представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация биоразлагаемых полимеров

1.4.1 Применение биоразлагаемых полимеров

Биоразлагаемые полимеры нашли широкое применение в медицине. Из-за большой биосовместимости полилактида (PLA) его используют для изготовления медицинских изделий. Такие изделия подвергаются влиянию

биологической среды организма. PLA используется для создания имплантатов, скаффолдов, шин, хирургические нити, брекетов, зажимов, хирургических масок и перевязочных материалов.

Преимущество данного полимера используется для контролируемой доставки лекарственных средств. В такой полимер можно помещать лекарственные субстанции для целевого высвобождения, который подвергается деградации в нетоксичные материалы, затем выводятся из организмы естественным путем [10].

В промышленности биоразлагаемые полимеры используют в качестве упаковки для пищевых продуктов, продуктовые пакеты и мешки. Вопрос о создании упаковок из биоразлагаемых полимеров является актуальным, так как ежедневно люди выбрасывают пластик, который начинает скапливаться в огромные массы, что засоряет планету [11].

1.5 Полилактид

Полилактид – это биоразлагаемый, термопластичный полимер, получаемый поликонденсацией оптических изомеров (L-МК или D-МК) молочной кислоты. Путем прямой поликонденсации молочной кислоты получают полилактид низкой молекулярной массы [12].

Преимущество данного полимера, это способность под воздействием окружающей среды безопасно разрушаться, при аэробных и анаэробных условиях. Продукты распада данного полимера перерабатываются микроорганизмами. Распад протекает в несколько этапов:

1. Гидролитический распад макромолекул;
2. Переработка мономера в биогенные органические соединения (кислоты, спирты);
3. Превращение в углекислый газ и воду.

Полилактид демонстрирует хорошую термическую обрабатываемость, что позволяет применять различные методы его обработки, такие как литье под давлением, выдувная съемка, литьевая съемка, прядение волокон,

термоформование. Кроме того, PLA имеет средний уровень проницаемости для воды и кислорода, сравнимый с полистиролом. Однако PLA обладает низкой устойчивостью к проникновению кислорода, а также является хрупким с относительным удлинением менее 10% при разрыве [13-15].

1.6 Молочная кислота

В 1780 году шведский химик Карл Вильгельм Шееле выделил молочную кислоту из кислого молока, и посчитал, что она является частью молока. Однако, в 1856 году Луи Пастер обнаружил что это продукт брожения. Коммерчески молочную кислоту начали производить в аптеке Boehringer Ingelheim в 1895 году [16].

В промышленности молочную кислоту можно получить химическим синтезом или ферментацией. МК обычно синтезируется в результате бактериальной ферментации или из продуктов нефтехимии [17]. Хотя рацемическая молочная кислота всегда производится химическим синтезом из нефтехимических ресурсов, оптически чистая L(+) или D(-) молочная кислота может быть получена путем микробной ферментации возобновляемых ресурсов. Из двух оптических изомеров (рис. 2) отдается предпочтение L-изомеру, в силу того, что D-МК оказывает отрицательное воздействие на человека.

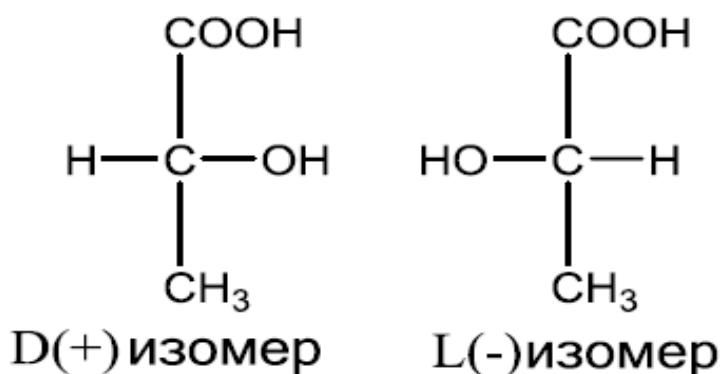


Рисунок 2 – Оптические изомеры МК

В зависимости от применения, одна форма оптически чистой молочной кислоты предпочтительнее другой. Кроме того, микробная ферментация предлагает преимущества, в том числе дешевые возобновляемые субстраты,

низкие производственные температуры и низкое энергопотребление. Пути получения МК представлены на рисунке 3 [18].

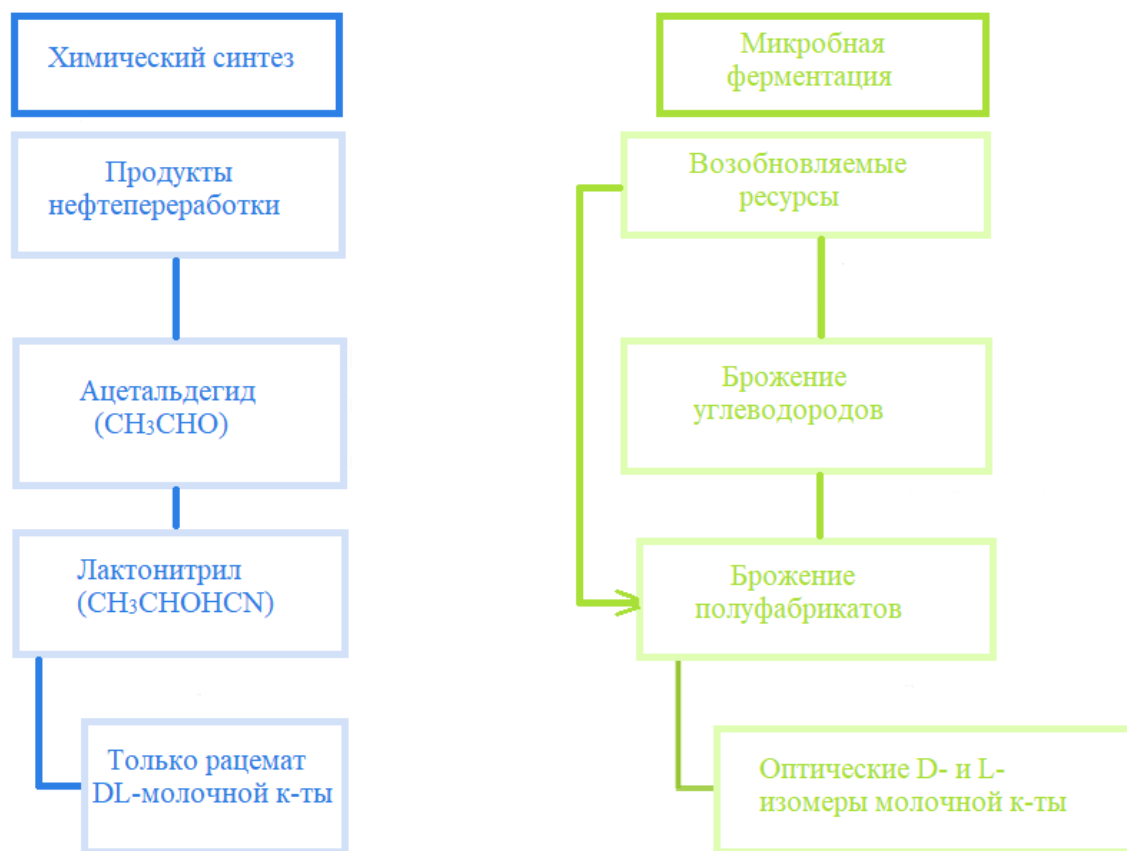


Рисунок 3 – Способы получения МК

1.7 Лактид

Лактид представляет собой димер молочной кислоты. Является главным сырьем при изготовлении полилактида. По внешнему виду лактид представляет собой кристаллы белого цвета. Также как МК, лактид имеет изомерные формы (L-, D-, мезо-лактид).



Рисунок 4 – Изомеры лактида

Основным сырьем для синтеза лактида является молочная кислота. Существующие методики синтеза лактида:

1. Дегидратация раствора молочной кислоты с экстракцией лактида

В данной методике [19] происходит обработка жидкой фазы исходного сырья, где удаляется вода и образуются циклические сложные эфиры, т.е. происходит реакция этерификации. При высокой температуре происходит удаление воды из раствора молочной кислоты. Далее олигомер подвергают обработке, где на выходе получают циклический эфир.

2. Деполимеризация олигомера молочной кислоты

Данная методика (рис. 5) представляет собой приготовление олигомера молочной кислоты с использованием катализатора и его дальнейшей деполимеризации при низком давлении и высокой температуре, на выходе получают лактид-сырец [20]. Проблемой данной методики является количество стадий, при которых получают лактид-сырец, количество затрачиваемого времени и энергии.

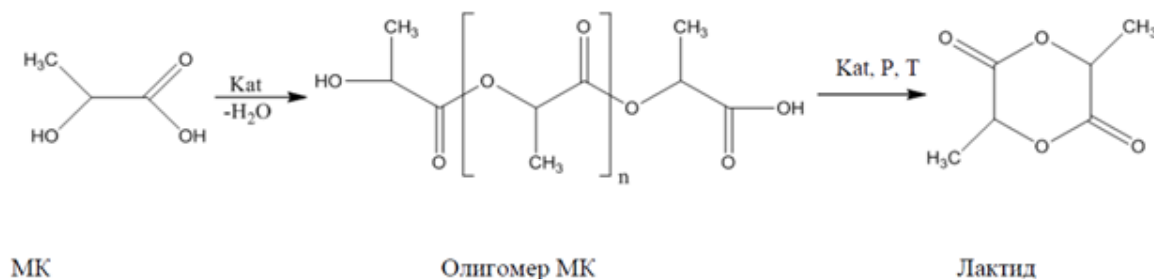


Рисунок 5 – Схема синтеза лактида из МК

3. Термическая деструкция отходов полилактида

С помощью микроволнового пиролиза полилактида отделяется L-лактид от жидкостей содержащих сам лактид, а также другие органические соединения. Таким образом, было получено 27.7% восстановленного лактида [21]. Данный метод стоит использовать как вспомогательный для получения полилактида из отходов, так как он имеет малый процент выхода.

4. Одностадийный метод синтеза лактида

В данной методике лактид-сырец получают напрямую из раствора молочной кислоты [22]. Реакционная колба помещалась в разогретую полисилоксановую баню, которая присоединена установке дистилляции с ловушкой для вакуумного насоса, которая охлаждается жидким азотом. С образованием олигомера идет его деполимеризация до лактида, колбы с запаянным пальцем для измерения температуры, а также подключена трубка для потока аргона, т.к. необходимо проводить дегазацию, поддерживая инертную среду. Лактид-сырец собирался в три колбы, для отбора проб по температуре паров. Процесс проводится с постепенным снижением давления (1000...5мБар), а температура поднимается от 125 до 200°C. Такой метод синтеза является более выгодным по времени, который занимает 5 часов.

Получение лактида является промежуточной стадией получения полилактида.

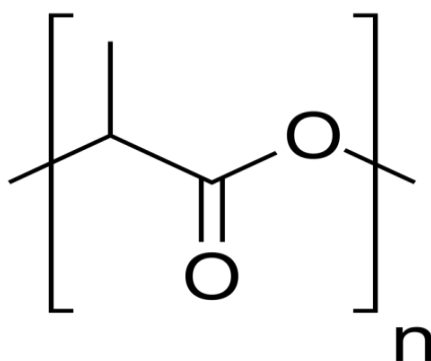


Рисунок 6 – Структурная формула полилактида

Перед получением высокомолекулярного полимера лактид необходимо очистить методом перекристаллизации в ацетонитриле от примесей: олигомер молочной кислоты, мезо-лактид, вода, молочная кислота.

В настоящее время синтез лактида обычно состоит из следующих стадий:

1. Получение олигомера МК;
2. Деполимеризация олигомера МК до лактида;
3. Очистка лактида-сырца.

1.8 Теоретические основы физико-химических методов анализа

Используемые в работе методы анализа:

1. Газовая хроматография (ГХ);
2. Гель-проникающая хроматография (ГПХ).

1.8.1 Газовая хроматография

Газовой хроматографией разделяются летучие термостабильные соединения. Только 5% известных органических соединений выполняют данное требование, но из такой малой доли соединений остаются 70-80% соединений, которые используются в производстве и быте [23]. Инертный газ (газ-носитель) выполняет подвижную фазу, которая проходит через неподвижную. Он переносит разделяемые компоненты по хроматографической колонке, не взаимодействуя с разделяемыми веществами и неподвижной фазой. Обычно, в подвижной фазе используют водород, гелий, аргон, азот. В силу дешевизны и доступности может использоваться и азот. Преимуществами газовой хроматографии являются: широкие границы применимости, то есть применима для соединений, у которых давление насыщенного пара составляет 0.001...1мм.рт.ст.; относительно быстрый анализ, порядка 40...60 минут; высокая точность определения малых по количеству соединений и газов [24].

Сам прибор оснащен инжекторами (блок ввода проб), термостат с хроматографической колонкой, детекторы, а также регистрирующее устройство. Газ-носитель под заданным давлением и скоростью проходит через колонку, далее через детектор. Определение проводится при необходимой постоянной температуре, которая задается программой.

1.8.2 Гель-проникающая хроматография

Гель-проникающая хроматография (ГПХ) - это аналитическая методика, которая разделяет растворенные макромолекулы по размеру на основе их элюирования с колонок, заполненных пористым гелем. Сорбционная

активность компонентов и массообмен определяется диффузной подвижностью макромолекул и соотношением их размеров с размерами пор [25]. ГПХ мало чем отличается от других методов жидкостной хроматографии и также проводится в хроматографических колонках. Образцы растворяют в подходящем растворителе, как правило, это органическими растворителями, и после фильтрации раствора их вводят в колонку, где происходит разделение многокомпонентной смеси. Постоянная подача элюента в колонку осуществляется с помощью насоса. Прибор также оснащен детектором. Для дополнительной информации о веществе, иногда могут использоваться несколько детекторов.

ГПХ используется для измерения абсолютной молекулярной массы, размера молекулы, а также возможности генерировать информацию о макромолекулярной структуре и других свойствах.

2 Экспериментальная часть

2.1 Характеристика используемого сырья

Молочная кислота. В работе использовался 80%-й раствор молочной кислоты фирмы «Purac» (Нидерланды). Представляет собой прозрачную жидкость без осадка. Имеет следующие характеристики: молярная масса: 98.08 г/моль; плотность: 1.225 г/см³; T_{кип.}: 122°C.

Модификаторы:

Уксусная кислота (CH₃COOH) – ГОСТ 61-75 (изм. 3);

Масляная кислота (C₄H₈O₂) – ГОСТ 30333-2007;

Винная кислота (HOOCCH(OH)CH(OH)COOH) – ГОСТ 5817-77.

Катализаторы:

Силикагель – ГОСТ 3956-76. Гидрофильный материал, представляющий из себя сыпучий прозрачный материал.

Растворители:

Хлороформ (CHCl₃) – бесцветная жидкость, летуч, имеет эфирный запах. T_{кип.}: 61.1°C; молярная масса 119.38 г/моль.

Этилацетат (C₄H₈O₂) – бесцветная жидкость, летуч, имеет резкий запах. T_{кип.}: 77.1°C; молярная масса 88.11 г/моль.

2.2 Лабораторная техника

2.2.1 Роторный испаритель для синтеза ОМК

Приготовление ОМК проводилось на роторном испарителе фирмы Heidolph (рис. 7), с подключенным вакуумным насосом и аргоновой подушкой. Для поддержания рабочей температуры используется масляная баня, с датчиками температуры, а также датчиком оборотов реакционной колбы.



Рисунок 7 – Роторный испаритель для синтеза ОМК

2.2.2 Установка для синтеза лактида-сырца

Установка изображена на рисунке 8, представляющая собой механический держатель-щипцы, удерживающий реакционную колбу. Под колбой размещена металлическая подставка, которая расположена на плитке с термопарой, поддерживающая рабочую температуру. К реакционной колбе подсоединяется термометр для измерения температуры паров, а также трубка, по которой ведётся отгонка лактида-сырца в колбы. Имеющиеся 3 приемных колбы подсоединены насадкой-пауком, которые позволяют разделять на фракции по температуре кипения паров. Насадка паук подсоединена к ловушке для вакуумного насоса, охлаждаемой жидким азотом. Также имеется вход от аргоновой подушки, который обеспечивает инертность среды.



Рисунок 8 – Установка для синтеза лактида-сырца

2.3 Методики проведения экспериментов

2.3.1 Методика получения олигомера молочной кислоты

Для получения ОМК в колбу загружается 80%-й раствор молочной кислоты (Purac) с добавлением силикагеля в количестве 1% от массы МК, в качестве катализатора и карбоновой кислоты, в качестве модификатора, также в количестве 1% от массы МК. Затем колба подсоединяется к роторному испарителю с числом оборотов 60 об/мин. Реакция проводится в инертной среде (аргон). Отгонка воды производится в начальный период при давлении 800 мБар и температуре 125°C. Со временем повышается температура масляной бани до 150°C, с одновременным падением давления, вплоть до 5 мБар.

На завершающем этапе отгонки свободной воды начинается накопление олигомерных структур молочной кислоты, сопровождающееся неизбежным образованием реакционной воды, т.е. происходит процесс полимеризации. Синтез олигомера занимает 5 часов. В указанных температурных пределах происходит отщепление реакционной воды от молекул молочной кислоты за счет энергии подводимого тепла в условиях вакуума. В этих условиях протекает процесс образования димерных и более сложных линейных

полимерных структур молочной кислоты, что влечет за собой изменение физико-химических свойств реакционной массы.

Более подробно параметры синтеза ОМК, с зависимостями времени от давления (рис. 9), и от температуры (рис. 10) приведены ниже.

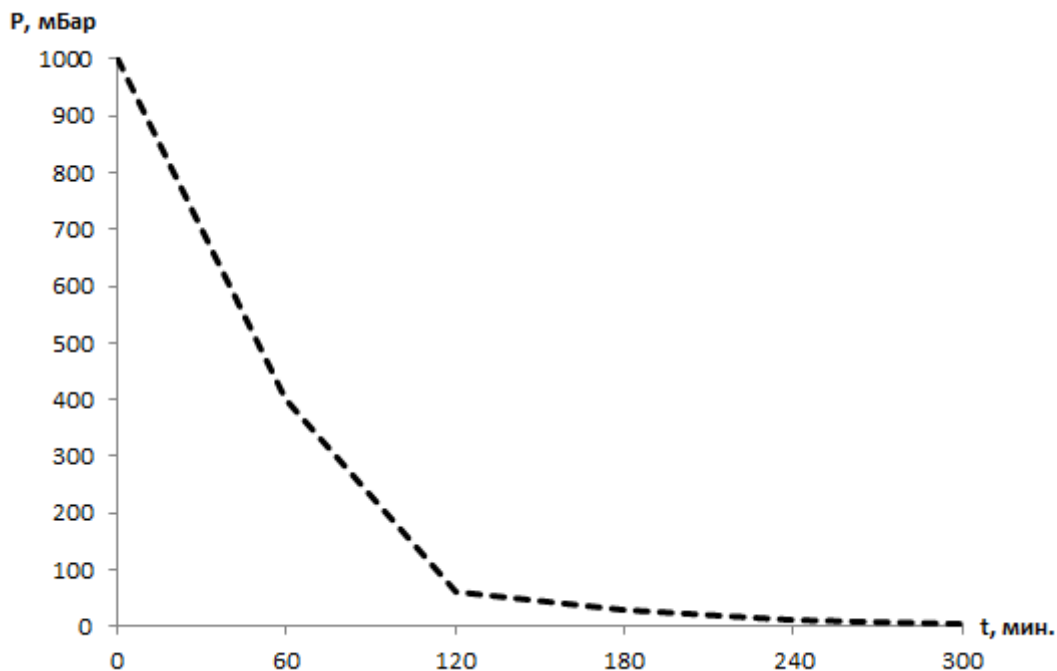


Рисунок 9 – Параметры синтеза ОМК

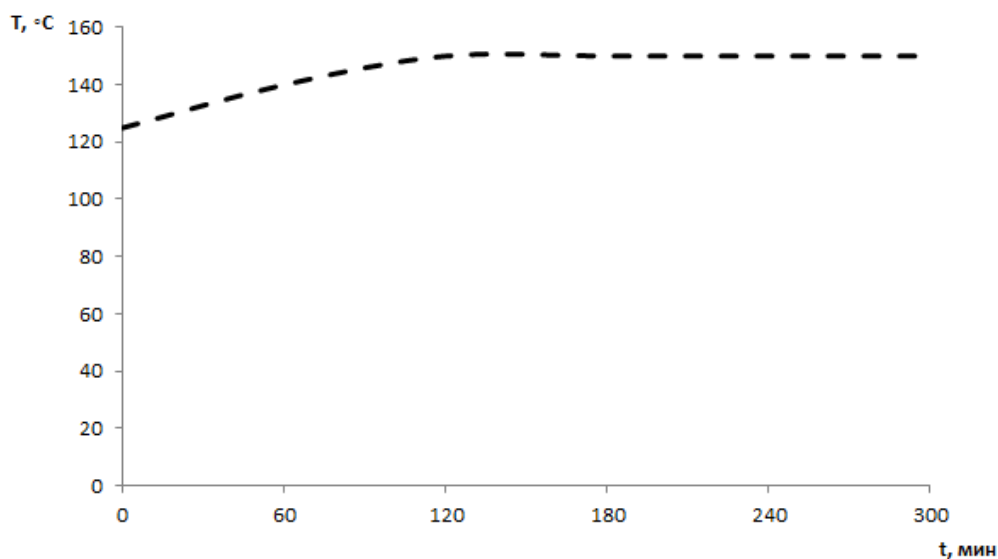


Рисунок 10 – Параметры синтеза ОМК

В процессе концентрирования МК и получения ОМК при низком давлении происходит отгонка воды и частично МК, вследствие чего снижается выход олигомера.

2.3.2 Методика получения лактида-сырца

Деполимеризация проводится в токе азота, вакууме (при давлении 7 мБар) и температуре 255°C. В ходе реакции в сборнике проводится сбор сырого лактида.

Смесь паров воды, лактида и уносимого ими легкой фракции олигоэфира поступают в дистилляционную колонну, обеспечивающую отделение и возврат в реактор непрореагировавшей легкой фракции олигоэфира. Парогазовая смесь, содержащая пары воды и лактида, а также легколетучие продукты декарбоксилирования (CO_2), декарбонилирования (CO) и другие продукты термического разложения поступают в теплообменник, и далее при температуре направляется в сборник лактида.

Отогнанная при температуре паров 140...160°C, фракция лактида-сырца представляла собой вязкую массу, содержащую кристаллы от белого до бледно-желтого цвета, затвердевающую при охлаждении.

2.3.3 Методика аналитического контроля полученных образцов

Молекулярно-массовое распределение полученных полимеров и олигомеров оценивали на гелипроникающем хроматографе Agilent Technologies 1260 Infinity. Образец олигомера/полимера, где катализатор - силикагель, приблизительной массы 0.0044г растворяется в 1.5мл хлороформа, тщательно перемешивается до полного растворения. Для пробы с мелкодисперсным силикагелем на 1.5мл этилацетата масса пробы составила 0.0563г. Далее проба (20мкл) инжектируется в прибор для анализа.

Таблица 1 – Расчетные показатели для пробоподготовки

Используемый катализатор	Объем колбы с растворителем, мл	Масса пробы лактида, г	Растворитель
Силикагель (крупнодисперсный)	1.5	0.0044	Хлороформ
Силикагель (мелкодисперсный)	1.5	0.0563	Этилацетат

Аналитический контроль процессов синтеза лактида проводился с помощью газовой хроматографии, где применялся хроматограф Хромос «ГХ-1000»; газом-носителем являлся азот, полученный генератором ГЧА-6; очистка азота от органических примесей выполняла система очистки БОВ-1А; для поддержания пламени в пламенно-ионизационном детекторе применялся генератор водорода ГВЧ-6Д.

Хроматограф оснащен капиллярной хроматографической колонкой Agilent HP-5 (30мм x 0.320мм). Температурный режим термостата колонки работает в режиме: нагрев 70-260°C в течение 52 минут при скорости 5°C/мин., удержание 4 минуты; нагрев до 280°C в течение 22 минут со скоростью 0.9°C/мин., удержание 2 минуты; температура испарителя 280°C, температура детектора 320°C.

Проба готовится растворение образца в этилацетате в количестве 4% по массе. Затем проба объемом 4мкл вкалывается в хроматограф; время анализа составляет 80 минут.

2.4 Обсуждение результатов

Лактид представляет собой димер молочной кислоты. Является основным сырьем при изготовлении полилактида.

В настоящее время лактид синтезируется разными методиками, стандартным способом синтеза является деполимеризация олигомера молочной кислоты. При этом, синтез лактида сопровождается проблемами: увеличение вязкости реакционной среды, что приводит к плохому тепловому и массовому обмену, ухудшению отгонки воды, к длительности процесса концентрирования и образованию различных побочных продуктов. Известно также, что примеси, содержащиеся в лактиде, влияют на молекулярную массу полимера и приводят к ухудшению физико-механических свойств.

Для снижения вязкости повышают температуру реакции; увеличивают вакуум среды, для отгонки воды; использование катализаторов, что также

ускоряют протекание реакции, позволяет уменьшить вязкость. Также для снижения вязкости используются растворители.

Данный полимер используется для создания имплантатов, скаффолдов, шин, хирургических нитей, зажимов, хирургических масок и перевязочных материалов. В промышленности биоразлагаемые полимеры используют в качестве тары и упаковки для пищевых продуктов, продуктовые пакеты и мешки. Вопрос о создании упаковок из биоразлагаемых полимеров является актуальным, так как ежедневно люди выбрасывают пластик, который начинает скапливаться в огромные массы, что засоряет нашу планету.

В процессе синтеза была использована методика деполимеризации модифицированного ОМК. Сравнивая эту методику синтеза с однореакторным методом, следует сказать о многостадийности процесса, где отдельное время занимает время синтеза ОМК, а затем деполимеризация, в результате которого получает лактид-сырец, и непосредственная его очистка. Аналогичная методика предлагалась ранее, но с использованием в качестве модификатора янтарной кислоты.

2.4.1 Синтез ОМК

В процессе синтеза ОМК был использован стандартный катализатор окись цинка (ZnO). Также использовались два новых катализатора: крупно и мелкодисперсный силикагель. На рисунках 11 и 12 приведены хроматограммы ГПХ для крупно и мелкодисперсного катализаторов соответственно. Параметры синтеза ОМК с катализатором ZnO представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Молекулярная масса ОМК через 2, 4, 6 часов (катализатор ZnO)

№ пробы	Время синтеза, мин	Молекулярная масса г/моль
1	120	210
2	240	697
3	360	1152

После синтеза, были взвешены ММ трех проб, из таблицы 2 видно, что ОМК с использованием окиси цинка имеет 1152 г/моль. В то время, как при

использовании силикагеля в качестве катализатора, повышает ММ олигомера.

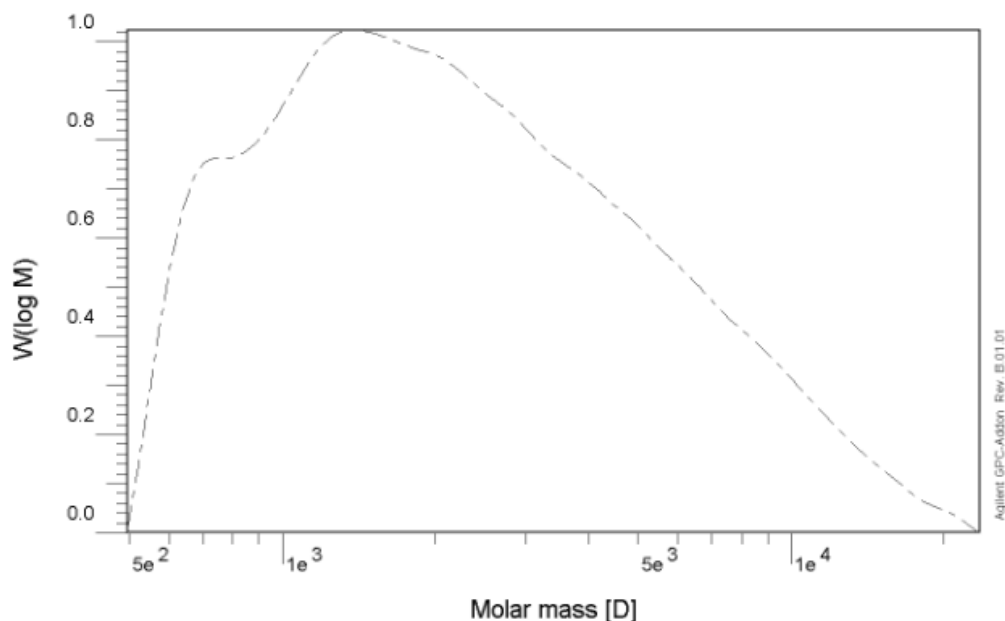


Рисунок 11 – Хроматограмма олигомера МК с катализатором крупнодисперсным силикагелем

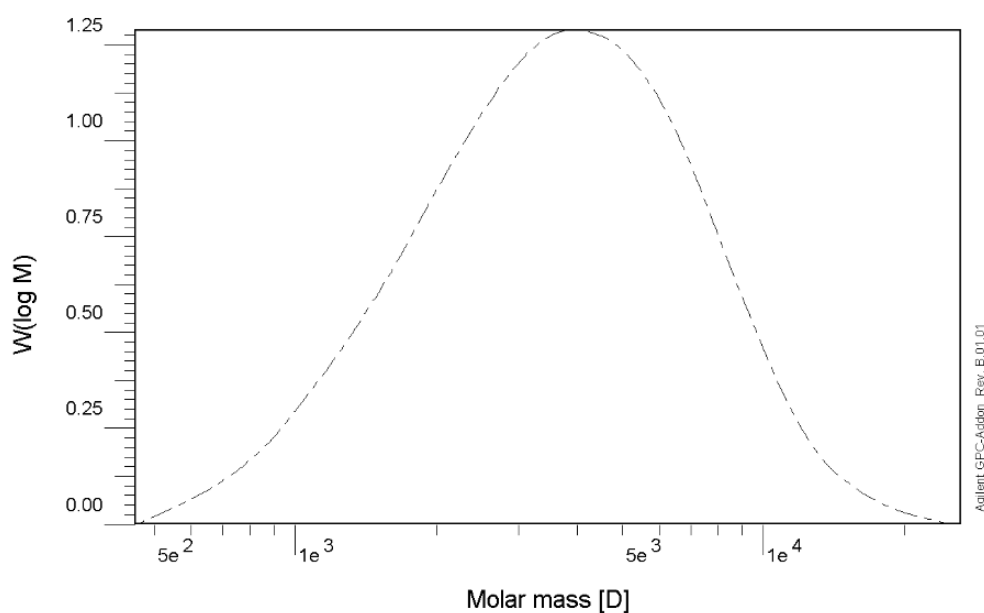


Рисунок 12 – Хроматограмма олигомера МК с катализатором мелкодисперсным силикагелем

В ходе аналитического контроля было определено, что более активным катализатором проявил себя мелкодисперсный силикагель, так как при его использовании молекулярная масса ОМК выше, в сравнении с крупнодисперсным силикагелем. Для крупнодисперсного силикагеля ММ составила 1606Да, а для мелкодисперсного 2772Да. Силикагель имеет большую площадь поверхности, состоящую из $-\text{SiOH}$ групп, которые

располагаются друг от друга на расстоянии 0.5нм, и они же являются активными центрами. У мелкодисперсного силикагеля более активная площадь поверхности контакта.

После выбора катализатора, в процессе синтеза ОМК добавлялся модификатор (карбоновые кислоты). Сравнивались 3 карбоновых кислоты: уксусная, масляная и винная.

Данные, полученные в ходе синтеза ОМК, в зависимости от модификатора представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Выход ОМК с разными модификаторами

Модификатор	Выход ОМК, %
Уксусная кислота	68
Масляная кислота	67
Винная кислота	68

Аналитические данные показали, что при синтезе ОМК с добавлением модификатора существенной разницы на выход олигомера оказано не было. Процентный выход для трех модификаторов не имеет существенной расхожимости.

2.4.2 Деполимеризация ОМК

В процессе деполимеризации модифицированного ОМК 3 синтеза проводились в одинаковых условиях. Это позволило наглядно сравнить процентный выход лактида-сырца.

Аналитические данные, деполимеризированного ОМК, в зависимости от модификатора, полученные на хроматограф Хромос «ГХ-1000»; представлены в таблице 4. Из таблицы видно, что наибольший процент выхода лактида-сырца происходит при деполимеризации ОМК, где в качестве модификатора выступает винная кислота.

Таблица 4 – Выход лактида сырца с разными модификаторами

Модификатор	Выход лактида-сырца, %
Уксусная кислота	41
Масляная кислота	42.5
Винная кислота	59

Хроматограммы лактида для трех модификаторов приведены ниже.

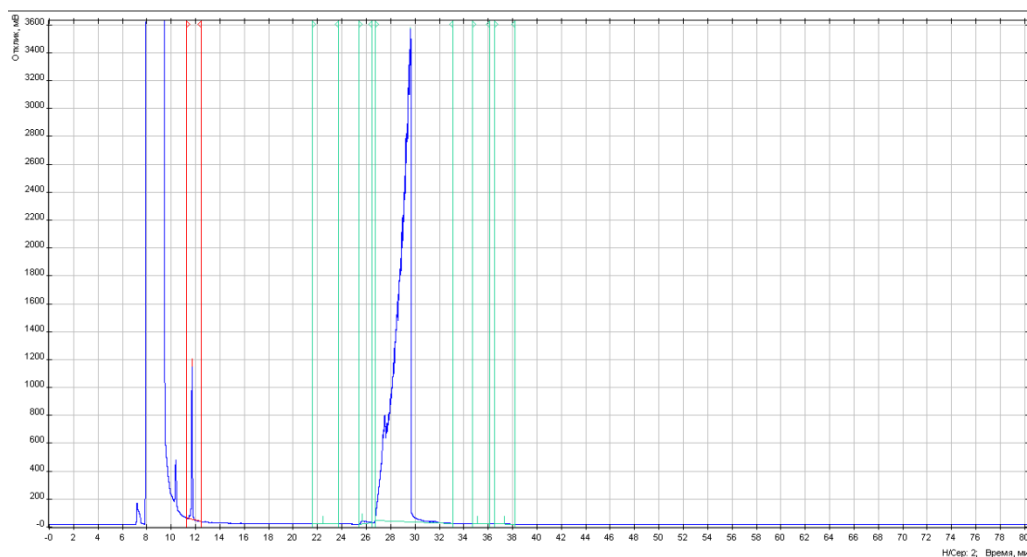


Рисунок 12 – Хроматограмма лактида-сырца с модификатором уксусной кислоты

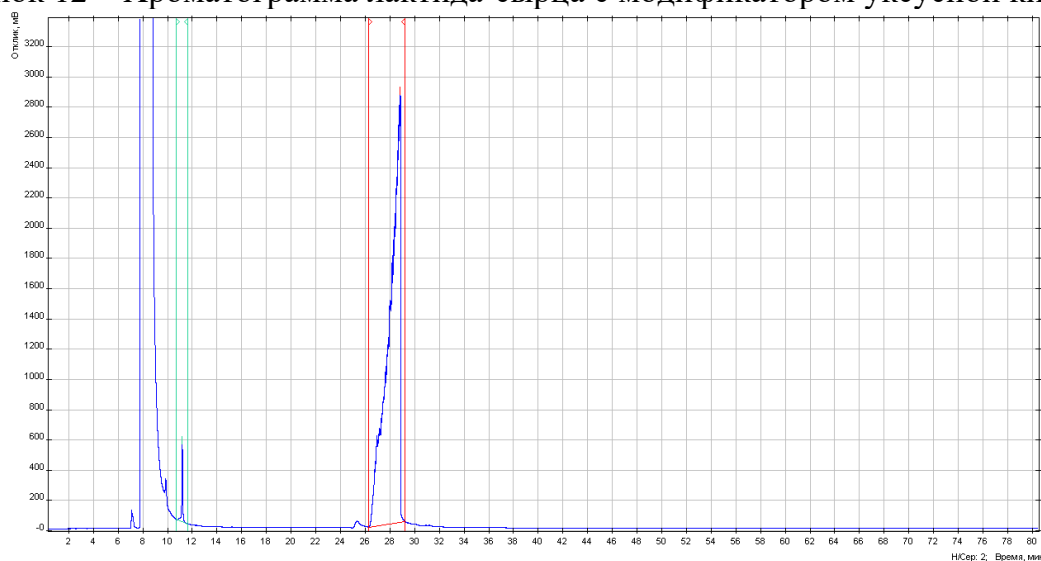


Рисунок 13 - Хроматограмма лактида-сырца с модификатором масляной кислоты

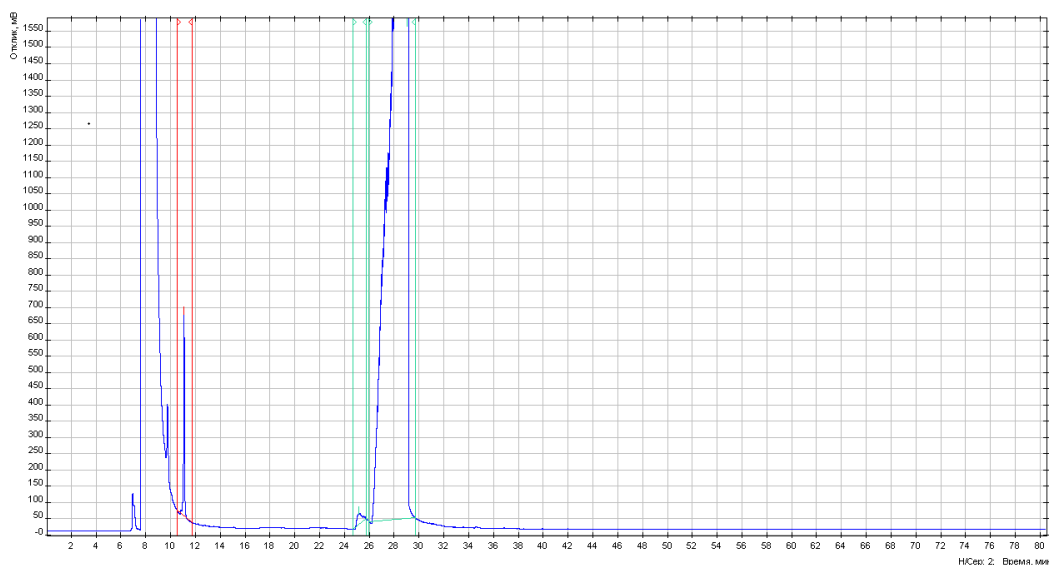


Рисунок 14 - Хроматограмма лактида-сырца с модификатором винной кислоты

На хроматограмме лактида-сырца с модификатором уксусной кислоты (рис. 12) видны характерные пики, соответствующие 12, 25 и 29 минутам.

Пик 12-й минуты соответствует молочной кислоте, 25-я минута соответствует пику мезолактида, и 30-я минута – соответствует пику лактида.

Для всех трех хроматограмм характерно большое содержание лактида в пробах, порядка 98%.

Вывод

1. В результате проделанной работы была отработана методика получения олигомера молочной кислоты с использованием карбоновых кислот в качестве модификатора.

2. При дальнейшей деполимеризации модифицированного ОМК был получен лактид-сырец с хорошим выходом. Самый высокий процент выхода лактида-сырца оказался при использовании винной кислоты в качестве модификатора. Таким образом, использование данных модификаторов при синтезе ОМК позволяет получить лактид-сырец большей чистоты по сравнению с другими методиками, где использовалась янтарная кислота.

3. Аналитические данные позволили определить, что ОМК имеет более высокую ММ при использовании мелкодисперсного катализатора. Содержание лактида-сырца, согласно хроматограммам выше, составляет 98%.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
9ДМ81	Репкин Дмитрий Сергеевич

Школа	Исследовательская школа химических и биомедицинских технологий		
Уровень образования	Магистр	Направление	18.04.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

4. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ»
5. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент- 1.3; - накладные расходы – 16%; - норма амортизации 20%.
6. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общий налоговый режим. Отчисления во внебюджетные фонды – 30.2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

5. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Построение оценочной карты для сравнения конкурентных разработок. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования.
6. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
7. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта. Определение затрат на проектирование (смета затрат)
8. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Причинно-следственная диаграмма Исикавы
Иерархическая структура работ по проекту
Диаграмма Ганта
Сетевой план-график проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.03.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
9ДМ81	Репкин Д.С.		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками [26].

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга) [26].

Таким образом, целевым рынком потребителей полилактида являются компании-производители медицинских изделий, например, имплантатов, скаффолдов, шин, хирургические нити, брекетов, зажимов, хирургических масок и перевязочных материалов. Также могут быть заинтересованы фармацевтические компании, в силу того, что полилактид используется для доставки лекарственных препаратов в организм.

Промышленные предприятия по изготовлению пластиковых упаковок, пакетов, мешков не менее заинтересованы в качественном полилактиде.

Среди отечественных потенциальных потребителей можно выделить следующие компании: ЗАО «НУК Пагода» (Москва, Нижний Новгород), а также ООО «Лакор Пластик» (Московская область). Зарубежные потенциальные потребители: «Mitsui Toatsu&Dai Nippon» (Япония), «Cargill Inc» (США), «Natural Work» (США).

3.2 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей,

инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления [27].

Область применения диаграммы:

1. Выявление причин возникновения проблемы;
2. Анализ и структурирование процессов на предприятии;
3. Оценка причинно-следственных связей.

Построение диаграммы начинают с формулировки проблемной области и/или темы, которая является объектом анализа и наносится на центральную горизонтальную стрелку диаграммы. Выявленные факторы подводят к стрелкам диаграммы первого уровня.

Далее к каждой стрелке подводят стрелки второго уровня, к которым, в свою очередь, подводят стрелки третьего уровня и т. д. до тех пор, пока на диаграмму не будут нанесены все стрелки, обозначающие факторы, оказывающие заметное влияние на объект анализа. Каждый фактор более низкого уровня будет являться следствием по отношению к причине более высокого уровня [27]. Таким образом, для данного проекта построена диаграмма Исикавы (рис. 16).



Рисунок 16– Причинно-следственная диаграмма

3.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности), Threats (угрозы) представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Его применяют для исследования внутренней и внешней сред проекта. Проводится в несколько этапов и его необходимо отобразить в виде таблицы.

Таблица 5 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С-1. Экологичность производства С-2. Финансирование С-3. Низкая цена по сравнению с другими производителями С-4. Наличие необходимого оборудования	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл-1. Энергоёмкий процесс (долгое время синтеза) Сл-2. Низкая мощность производства
Возможности: В-1. Использование инновационной структуры НИ ТПУ В-2. Спрос на продукт	У данного продукта большой шанс внедрения его в отечественный рынок, благодаря его свойствам: хорошая биосовместимость, высокая молекулярная масса, низкая стоимость исходных материалов.	Сложность внедрения на отечественный рынок возникает из-за того, что в России недостаточное количество производственных площадок для разработки данного продукта. Кроме того, методика постоянно совершенствуется, что требует постоянных поправок в производство.
Угрозы: У-1. Отсутствие потребности в продукте У-2. Введение иных государственных требований к сертификации продукта У-3. Несвоевременное финансирование исследования со стороны государства У-4. Ограничения на экспорт продукта	В случае ограниченного доступа на зарубежные рынки, можно осуществлять активное внедрение товара на отечественный рынок.	В случае нехватки финансирования собственного производства, можно осуществлять продажи лицензии на производство.

3.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Таблица 6 содержит показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 6 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	3	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	5
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	5
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	4
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	5
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	4
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	5
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	59	66

При проведении анализа, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется как суммарное количество баллов по каждому направлению. Суммарное значение позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если суммарное значение получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки можно сделать вывод, что данный проект имеет перспективность выше средней. Дальнейшему улучшению проекта необходимы положительные заключения эксперта, для определения объемов и поиска инвестирования. Уровень имеющихся знаний у разработчика является достаточно высоким.

3.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания [28].

При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности. Для того чтобы это сделать необходимо ориентироваться в возможных вариантах.

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок [28]:

1. Торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. При этом в патентном законодательстве выделяющие виды лицензий: исключительные (простые), исключительные, полные лицензии, сублицензии, опционы.

2. Передача ноу-хау, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

3. Инжиниринг, как самостоятельный вид коммерческих операций, предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной

стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

4. Франчайзинг, т.е. передача или переуступка (на коммерческих условиях) разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

5. Организация собственного предприятия.

6. Организация совместного предприятия, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

7. Организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Для данного проекта был выбран метод передачи «ноу-хау». Это объясняется тем, что данный проект базируется не на производстве, а на передаче готового решения (методики) предприятиям, которые в ней нуждаются. Такой способ коммерциализации поможет улучшать и дорабатывать проект, что позволит увеличить привлекательность данного проекта для потенциальных потребителей.

3.6 Инициация проекта

3.6.1 Цели и результаты проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны

проекта, которые будут взаимодействовать, и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [28].

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Фармацевтические компании	Синтез полилактида для изготовления биоразлагаемых капсул, в которые можно помещать лекарственные субстанции для их доставки
Медицинские учреждения	Синтез качественного полилактида для материалов биомедицинского назначения (нити, штифты, имплантаты)
Промышленные предприятия	Полилактид высокого качества для производства пленок, упаковок для пищевых продуктов, продуктовые пакеты и мешки.

В таблице 8 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 8 - Цели и результат проекта

Цели проекта:	Получение полилактида высокой чистоты
Ожидаемые результаты проекта:	1. Создание отечественного конкурентно способного материала для производства медицинских изделий 2. Отчет о результатах синтезов
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность результатов
Требования к результату проекта:	Требование:
	Стандартизация готового продукта

3.6.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 9 - Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Новиков Виктор Тимофеевич, к.х.н., доцент ИШХБМТ НИ ТПУ, научный руководитель	Отвечает за реализацию проекта	Распределяет ресурсы и координирует деятельность участников проекта	576
2	Репкин Дмитрий Сергеевич, магистрант ИШХБМТ НИ ТПУ	Исполнение проекта	Выполнение отдельных работ по проекту	1064
ИТОГО:				1640

3.6.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 10 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	-
2. Источник финансирования	-
3. Сроки проекта:	25.06.2019–30.05.2020
4. Дата утверждения плана управления проектом	25.06.2019
5. Дата завершения проекта	30.05.2020
6. Прочие ограничения и допущения*	-

3.7 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

3.7.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

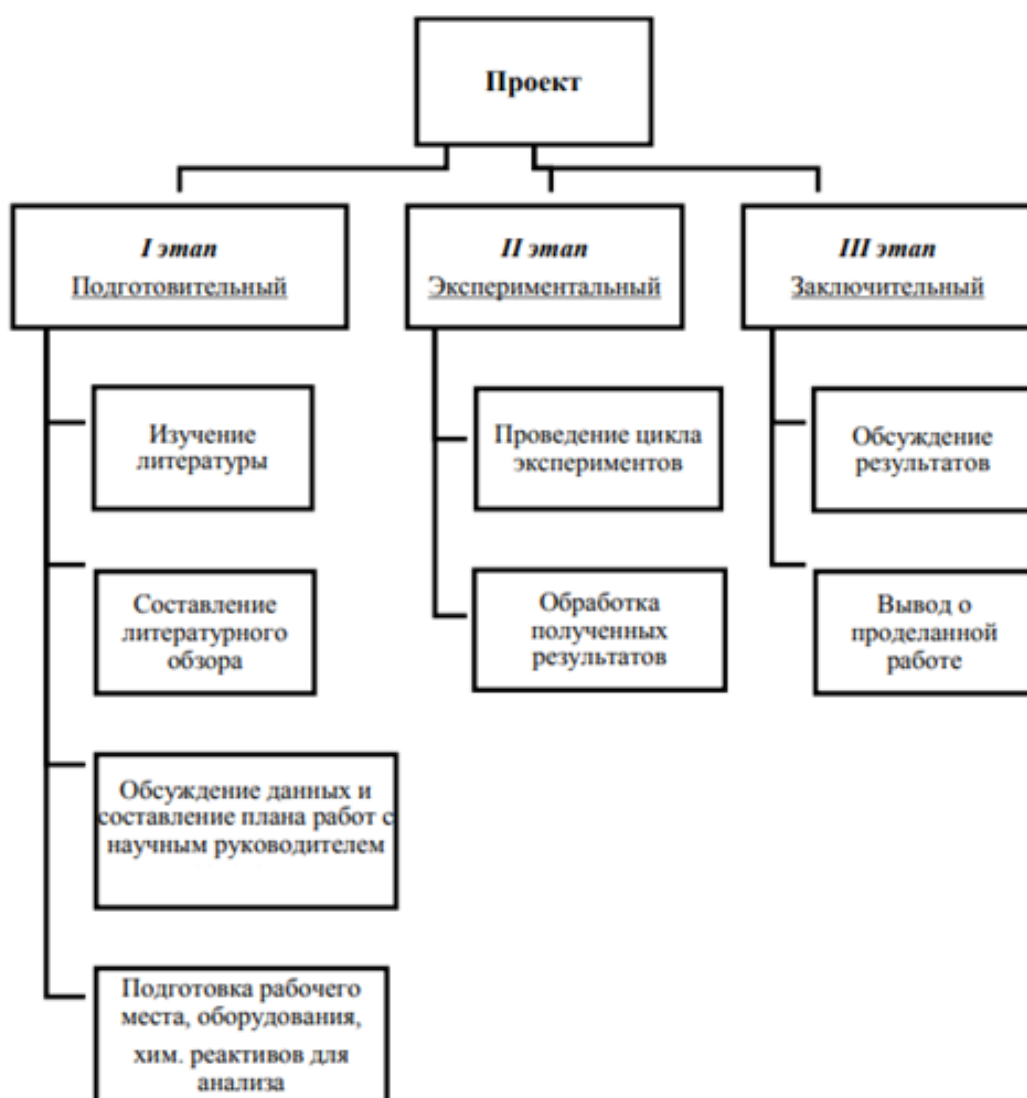


Рисунок 17 – Иерархическая структура работ проекта

3.7.2 Контрольные события проекта

Таблица 11 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Литературный обзор	26.06.2019	Подпись руководителя
2	Патентный поиск	26.06.2019	Отчет о проведенном поиске
3	Анализ рынка	02.10.2019	Отчет о проведенном поиске
4	Экспериментальная часть	15.10.2019	Отчет о полученных результатах
5	Составление отчета	25.05.2020	Согласование и подпись руководителя

3.7.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный и сетевой графики проекта. Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График построен в виде таблицы с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта. Работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за работу.





Таблица 12 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дней	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Получение задания	1	25.06.2019	26.06.2019	Новиков В.Т. Репкин Д.С.
2	Проведение патентных исследований	57	26.06.2019	01.09.2019	Репкин Д.С.
3	Проведение литературного обзора	57	26.06.2019	01.09.2019	Репкин Д.С.
4	Подготовка отчёта о патентных исследованиях	4	02.09.2019	06.09.2019	Репкин Д.С.

Продолжение таблицы 12

5	Подготовка отчёта о литературном обзоре	27	02.09.2019	29.09.2019	Репкин Д.С.
6	Принятие решения о дальнейших исследованиях	1	30.09.2019	01.10.2019	Репкин Д.С. Новиков В.Т.
7	Сбор данных для анализа рынка	3	02.10.2019	05.10.2019	Репкин Д.С.
8	Подготовка отчета об анализе рынка	1	09.10.2019	10.10.2019	Репкин Д.С.
9	Принятие решения о дальнейших исследованиях	1	09.10.2019	10.10.2019	Репкин Д.С.
10	Подготовитель ные работы к проведению эксперимента	3	11.10.2019	14.10.2019	Репкин Д.С. Новиков В.Т.
11	Проведение эксперимента	213	15.10.2019	15.05.2020	Репкин Д.С.
12	Составление отчёта о проведённых исследованиях	7	16.05.2020	23.05.2020	Репкин Д.С.
13	Согласование результатов с научным руководителем	2	24.05.2020	25.05.2020	Репкин Д.С. Новиков В.Т.

Таблица 13- Календарный план-график проведения НИОКР по теме «Синтез лактида из олигомеров молочной кислоты»

Виды работ	Исполнители	Продолжительность выполнения работ													
		Т _к , дней	06.2019	07.2019	08.2019	09.2019	10.2019	11.2019	12.2019	01.2020	02.2020	03.2020	04.2020	05.2020	06.2020
Получение задания	Магистрант Науч. руковод.	1													
Проведение патентных исследований	Магистрант	56													
Проведение литературного обзора	Магистрант	56													
Подготовка отчёта о патентных исследованиях	Магистрант	4													

Подготовка отчёта о литературном обзоре	Магистрант	27													
Принятие решения о дальнейших исследованиях	Магистрант Науч. руковод.	1													
Сбор данных для анализа рынка	Магистрант	3													
Подготовка отчета об анализе рынка	Магистрант	1													
Принятие решения о дальнейших исследованиях	Магистрант Науч. руковод.	1													
Подготовительные работы к проведению эксперимента	Магистрант Науч. руковод.	3													

Проведение эксперимента	Магистрант	213												
Составление отчёта о проведённых исследованиях	Магистрант	7												
Согласование результатов с научным руководителем	Магистрант Науч. руковод.	1												

Условные обозначения таблицы 9

Магистрант	Научный руководитель и магистрант

Сетевой график – графическое отображение комплекса работ по теме с установленными между ними взаимосвязями.

Составление сетевого план-графика основывается на методе критического пути. Критический путь представляет собой полный путь, имеющий наибольшую продолжительность. Метод критического пути дает возможность варьировать сроками выполнения работ, не лежащими на критическом пути.

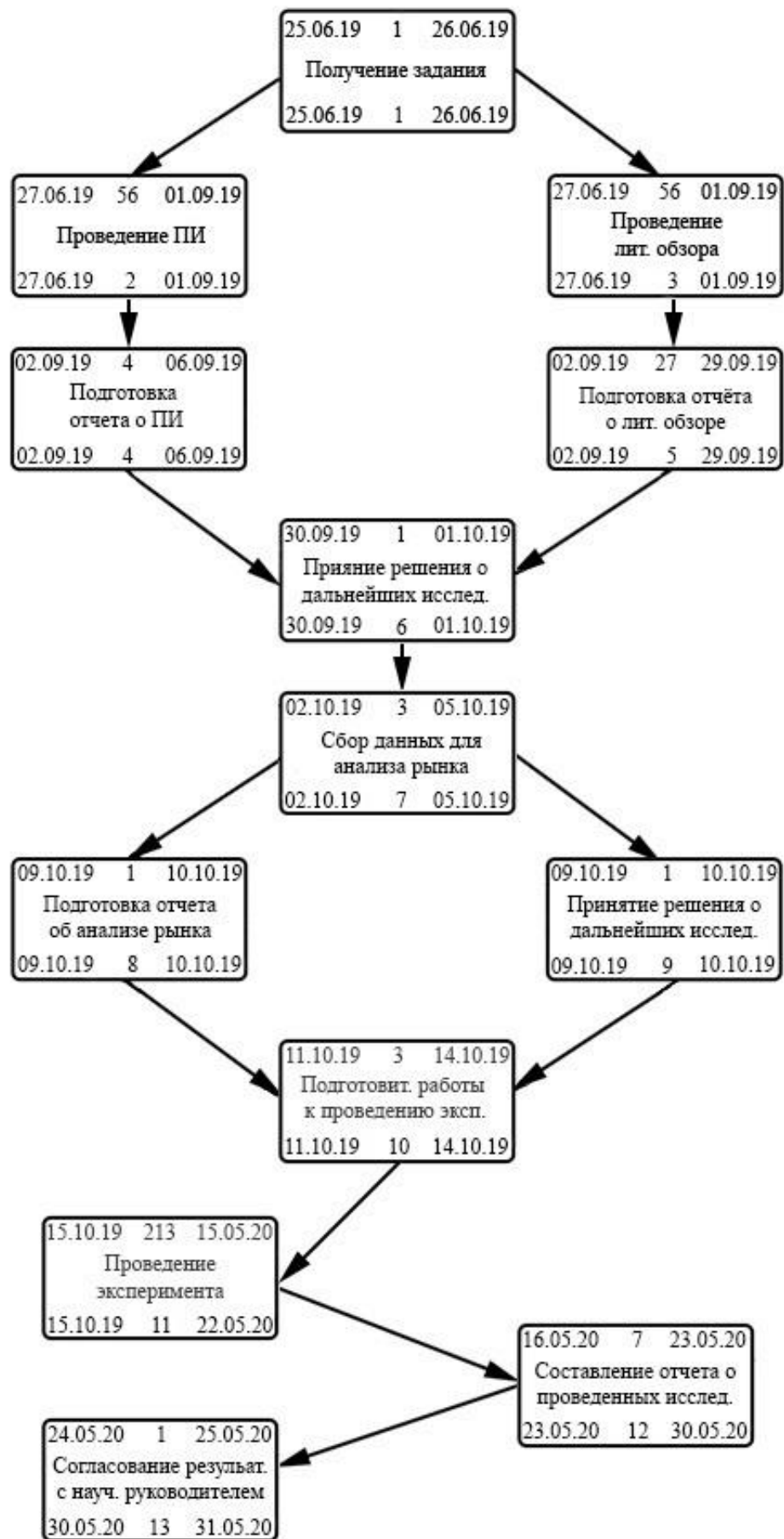


Рисунок 18 – Сетевой план-график проекта

Прямой проход по сети. Раннее начало каждой работы можно определить, двигаясь по графику слева направо. Всякая первая работа может начаться в момент $t=0$. В точке «схождения» нескольких работ отражается самое позднее завершение всех работ, предшествующих данной точке. Тогда раннее начало последующей работы определяется максимальной из сумм раннего начала предшествующей работы и продолжительности этой же работы:

$$t_{\text{рн}}(j) = \max[t_{\text{рн}}(i) + T(i)] ,$$

где $t_{\text{рн}}(j)$ – раннее начало последующей работы;

$t_{\text{рн}}(i)$ – раннее начало предшествующей работы;

$T(i)$ – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях.

Раннее окончание работы рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{ро}}(i) = t_{\text{рн}}(i) + T(i) ,$$

Критический путь – максимальное время выполнения работ по всей теме в целом:

$$T_{\text{кр}} = T[L_{\text{max}}(1, \text{зав.})] ,$$

где $L_{\text{max}}(1, \text{зав.})$ – максимальный путь от первой работы до завершающей.

Следует учесть, что раннее начало завершающей работы сети принимают равным ее позднему началу:

$$t_{\text{рн}}(\text{зав.}) = t_{\text{пн}}(\text{зав.}) ,$$

а раннее окончание завершающей работы сети принимают равным ее позднему окончанию:

$$t_{\text{ро}}(\text{зав.}) = t_{\text{по}}(\text{зав.}) .$$

Обратный проход по сети. Определение поздних сроков работ начинается с завершающей работы и ведется строго в обратном порядке, приближаясь к начальной работе.

Позднее начало каждой работы можно определить, двигаясь по графику справа налево. В точке «схождения» нескольких работ используется самое раннее время завершения из входящих в нее работ:

$$t_{\text{пн}}(i) = \min t_{\text{пн}}(j) - T(i),$$

где $t_{\text{пн}}(i)$ – позднее начало i -ой работы;

$\min t_{\text{пн}}(j)$ – минимальная величина позднего начала j -ой работы;

$T(i)$ – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях.

Позднее окончание работы рассчитывается с учетом точки «схождения» нескольких работ по следующей формуле:

$$t_{\text{по}}(i) = \min t_{\text{пн}}(j),$$

где $t_{\text{по}}(i)$ – позднее окончание i -ой работы;

$\min t_{\text{пн}}(j)$ – минимальная величина позднего начала работ, приходящихся на точку «схождения» i -ой работе.

Расчет резервов и времени работы. Резерв времени полного пути. Его величина показывает, на сколько в сумме могут быть увеличены продолжительности работ, принадлежащих полному пути:

$$R(L_n) = T_{\text{кр}} - T(L_n)$$

где $T_{\text{кр}}$ – продолжительность критического пути;

$T(L_n)$ – продолжительность любого другого пути.

Полный резерв времени работы означает, что эта работа может начаться позднее, чем указано датами раннего начала. Использование этого резерва на одной из работ, аннулирует полные резервы времени всех остальных работ, лежащих на этом пути:

$$R_{\text{п}}(i) = \min t_{\text{пн}}(j) - t_{\text{по}}(i),$$

где $\min t_{\text{пн}}(j)$ – минимальное позднее начало последующих работ, приходящихся на точку «схождения» к предшествующей работе;

$t_{\text{по}}(i)$ – раннее окончание предшествующей работы.

Продолжительность критического пути больше продолжительности любого другого пути сетевого графика. Полный резерв времени работ критического пути равен нулю.

Свободный резерв времени работы указывает максимальное время, на которое можно увеличить продолжительность отдельной работы или отсрочить ее начало. Он является независимым резервом, т.к. его использование на одной из работ не меняет величины свободных резервов времени остальных работ:

$$R_c(i) = t_{pn}(j) - t_{pn}(i) ,$$

где $t_{pn}(j)$ – раннее начало последующей работы;

$t_{pn}(i)$ – раннее начало предшествующей работы.

Параметры сетевого графика на рисунке 18. Данные, полученные при расчете параметров, сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Параметры сетевого графика

Название работы	№ раб.	$T_{\text{кал}}$	t_{pn}	t_{po}	$t_{пн}$	$t_{по}$	R_n	R_c
Получение задания	1	1	0	1	0	1	0	0
Проведение патентных исследований	2	56	1	57	24	80	0	0
Проведение литературного обзора	3	56	1	57	1	57	0	0
Подготовка отчёта о патентных исследованиях	4	4	57	61	80	84	0	0
Подготовка отчёта о литературном обзоре	5	27	57	84	57	84	0	0
Принятие решения о дальнейших исследованиях	6	1	84	85	84	85	0	0
Сбор данных для анализа рынка	7	3	85	88	85	88	0	0
Подготовка отчета об анализе рынка	8	1	88	89	88	89	0	0
Принятие решения о дальнейших исследованиях	9	1	88	89	88	89	0	0
Подготовительные работы к проведению эксперимента	10	3	89	92	89	92	0	0
Проведение эксперимента	11	213	92	305	92	312	0	0

Составление отчёта о проведённых исследованиях	12	7	305	312	312	319	7	0
Согласование результатов с научным руководителем	13	1	312	313	319	320	7	0
Резерв времени полного пути $R(L_{\text{п}})$	7							
Критический путь $T_{\text{кр}}$	320							

3.7.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. Результаты по данной статье заносятся в таблицы ниже.

Таблица 15 – Расчет затрат на сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

№ п/п	Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1	Молочная кислота 80%	Puras	1 литр	6333.2	6333.2
2	Силикагель	Sorbis-Group	1 кг.	4429.1	4429.1
3	Уксусная кислота 99%	Химснаб-2000	1 л	55	55
4	Масляная кислота	ПраймКемикалсГрупп	1 л	2500	2500
5	Винная кислота	ПраймКемикалсГрупп	1 кг	405	405
6	Хлороформ	Реахимприбор	1 литр	1200	1200
7	Этилацетат	Химснаб-2000	1 литр	5.44	5.44
8	Лабораторная химическая посуда - колбы мерные на 50 и 100 см ³	ГОСТ 1770-74	15 шт.	200	3000

Продолжение таблицы 15

9	Бумага А4	SVETOCOPY	2 упаковки	350	700
10	Тетрадь 96 листов	-	1 шт.	55	55
11	Ручка шариковая	-	2 шт.	30	60
Всего за материалы, руб.					18 742.74
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%), руб.					656
Итого по статье С _м , руб.					19 398.74

Таблица 16 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Норма амортизации, %	Общая стоимость оборудования, руб.	Амортизация за период выполнения проекта
1	Роторный испаритель Heidolph	1	56759	20	-	11 351.8
2	Вакуумный насос Vacuubrand	1	45920	20	-	9 184
3	Газовый баллон (аргон)	1	6200	-	6200	
Итого					108 879	20 535.88

Таблица 17 - Расчет энергозатрат

Наименование оборудования	Мощность, кВт	Время, ч	Энергозатраты за период выполнения работы	Затраты на энергию за период выполнения работы, руб. (2,45 руб./кВт)
Роторный испаритель «Heidolph»	0,295	210,5	62,01	152,14
Вакуумный насос Vacuubrand	2	210,5	421	1031,45
Итого:				1183,59

Основная заработная плата работников непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где, $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала в рабочих днях.

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	1	1
Действительный годовой фонд рабочего времени	250	274

Таблица 19 – Основная заработная плата

Исполнители	Зб., руб.	k_p	Зм., руб.	Здн., руб	Тр., раб. дни	Зосн., руб
Руководитель	49150	1.3	63895	2874	21	60354
Инженер	12130	1.3	15769	656,5	142	93223

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Таблица 20 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	60 354	93 223
Дополнительная зарплата	7242.5	11 186.8
Зарплата исполнителя	-	-
Итого по статье $C_{\text{сп}}$	67 596.5	104 409.8

Отчисления на социальные нужды составляют 30.2 % от основной зарплаты.

Таблица 21 - Расчет отчислений на социальные нужды

	Заработная плата, руб.	Социальные отчисления, руб.
Руководитель	60 354	18 226.9
Инженер	93 223	28 153.4
Итого:		46 380.3

Таблица 22 – Группировка затрат по статьям

Вид статьи	Сумма затрат, руб.
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	19 398.47
Амортизационный отчисления	20 535.88
Основная заработная плата	153 577

Продолжение таблицы 22

Дополнительная заработная плата	18 429.3
Отчисления на социальные нужды	46 380.3
Научные и производственные командировки	-
Оплата работ выполняемых сторонними организациями и предприятиями	-
Прочие прямые расходы	-
Затраты на энергию за период выполнения проекта	1183.59
ИТОГО:	242 917.54

3.8 Организационная структура проекта

На практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная. Наиболее подходящей организационной структурой данной работы является проектная структура, представленная на ниже.

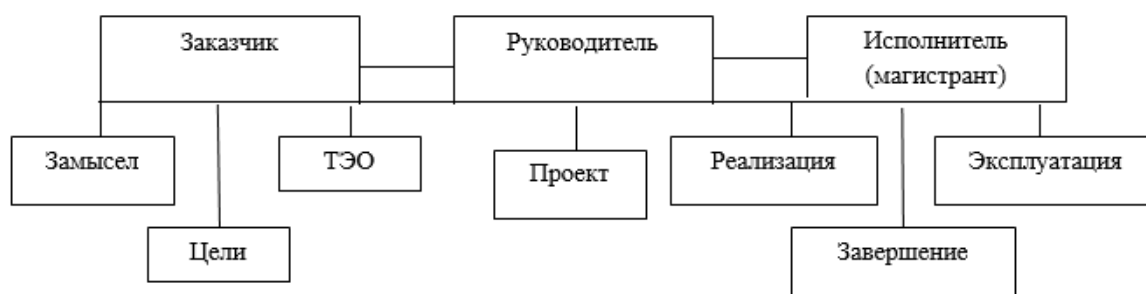


Рисунок 19 – Организационная структура проекта

3.9 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности.

Таблица 23 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Магистрант
Анализ литературных данных	У	О; И
Анализ рынка и потенциальных потребителей	У	О; И
Наладка оборудования	У	И
Проведение эксперимента	У; С	О; И
Составление отчета	У	О; И

Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

3.10 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта.

Таблица 24 – План управления коммуникациями проекта

№п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1	Статус проекта	Руководитель проекта	Исполнитель проекта	Ежемесячно (конец периода)
2	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (конец недели)
3	Документы и информация по проекту	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Ежемесячно (конец периода)
4	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Ежемесячно (конец периода)

3.11 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 25 – Реестр рисков

№ п/п	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Примеси	Снижение молекулярной массы полимера	2	5	Проверка и чистка оборудования	Загрязнение и не герметичность установки
2	Несоблюдение условий синтеза	Снижение качества продукта	2	5	Контроль процесса	Невнимательность работника, неисправность установки
3	Финансирование	Нехватка денежных средств для проведения исследований	1	4	Привлечение инвесторов	Сокращение бюджета
4	Незаинтересованность	Отсутствие рынка сбыта	1	5	Поддержание актуальности разработки	Отсутствие новизны и востребованности исследования

3.12 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

3.12.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Таблица 26 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки

Наименование	Сумма, рубли		
	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
Затраты на сырье, материалы	19 398.47	19 398.47	19 398.47
Затраты на оборудование	20 535.88	20 535.88	20 535.88
Затраты на основную зарплату исполнителям проекта	153 577	153 577	153 577
Затраты на электроэнергию	1183.59	1386.58	1563.42
Отчисления на социальные нужды	46380.3	46380.3	46380.3
Итого:	241 075.24	241 278.23	241 455.07

В вариантах исполнения (аналог 1, аналог 2) происходит увеличение затрат на электроэнергию, за счет увеличения расхода сырья.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}},$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a,$$

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i-го параметра;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i-го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0.15	5	4	4
2. Энергосбережение	0.15	4	4	5
3. Достоверность	0.25	5	4	4
4. Удобство в эксплуатации	0.20	4	4	4
5. Надежность	0.25	5	3	4
ИТОГО:	1	4.65	3.75	4.15

$$I_{\text{текущий}} = 5 \cdot 0.15 + 4 \cdot 0.15 + 5 \cdot 0.25 + 4 \cdot 0.20 + 5 \cdot 0.25 = 4.65$$

$$I_{\text{аналог 1}} = 4 \cdot 0.15 + 4 \cdot 0.15 + 4 \cdot 0.25 + 4 \cdot 0.20 + 3 \cdot 0.25 = 3.75$$

$$I_{\text{аналог 2}} = 4 \cdot 0.15 + 5 \cdot 0.15 + 4 \cdot 0.25 + 4 \cdot 0.20 + 4 \cdot 0.25 = 4.15$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p},$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a},$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a},$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{тэ}}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{\text{тэ}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 28 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель	1	0,998	0,999
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4.65	3.75	4.15
3	Интегральный показатель эффективности	4.65	3.76	4.15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0.81	0.89

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Вывод: По полученным значениям интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

Для данного проекта построена причинно-следственная диаграмма Исикавы, выявлены потенциальные потребители и риски. Составлен сетевой план-график для отображения комплекса работ по теме с установленными между ними взаимосвязями.

4 Социальная ответственность

Объектом исследования является синтез лактида из олигомеров молочной кислоты, а получение лактида высокой чистоты из модифицированного олигомера молочной кислоты с применением силикагеля в качестве катализатора. Для проведения аналитического контроля применялись следующие химические вещества: хлороформ, этилацетат (растворитель). Данный полимер используют изготовления медицинских изделий. Такие изделия подвергаются влиянию биологической среды организма. Лактид используется для создания имплантатов, скаффолдов, шин, хирургические нити, брекетов, зажимов, хирургических масок и перевязочных материалов.

Данный полимер является биodeградируемым, поскольку скорость деградации очень мала по сравнению с традиционными пластиками. Сначала происходит распад до олигомеров, затем итоговыми продуктами распада являются вода и углекислый газ.

Научно-исследовательская работа проходила в Научном Парке НИ ТПУ. Помещение лаборатории отвечает всем требованиям техники безопасности, охране условий труда, пожарной безопасности.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ПНД Ф 12.13.1-03 [29] к работе в химические лаборатории допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование для решения вопроса о возможности работы в лаборатории, а также прошедшие вводный инструктаж о соблюдении мер безопасности, инструктаж на рабочем месте и после собеседования по вопросам техники безопасности.

Согласно Приложениям № 7 и 8 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы лаборанту, работающему по анализу с применением газообразных и легколетучих

токсических веществ, дается право на дополнительный отпуск 12 [30] рабочих дней, а также устанавливаются доплаты до 24% должностного оклада [31]. Сокращенная продолжительность рабочего времени лаборанта не положена.

Кроме того, работнику лаборатории необходимо выдача специальной одежды, специальной обуви и другие средства индивидуальной защиты бесплатно [32], выдача смывающих и (или) обезвреживающих средств [33], бесплатная выдача молока [34].

4.1.1 Организационные вопросы по компоновке рабочей зоны

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации N 426-ФЗ устанавливается правило проведения специальной оценки условий труда, определяются права и обязанности, а также ответственность участников оценки условий труда.

При компоновке рабочей зоны учитываются всевозможные факторы, которые могут повлиять на человека. Помещение лаборатории, во-первых, должно быть оснащено вентиляционной системой. Во-вторых, в рабочей зоне должна быть хорошая освещенность, чтобы не препятствовать проведению экспериментов. В-третьих, все электроприборы должны отвечать требованиям техники пожарной безопасности, а также иметь изоляцию и заземление. Все трудящиеся в лаборатории должны иметь средства индивидуальной защиты (халат, очки, перчатки и т.д.), верхняя одежда хранится в шкафу. Для предотвращения чрезвычайных ситуаций все трудящиеся обязаны проходить обучение и инструктаж по технике безопасности.

4.2 Производственная безопасность

Основные элементы производственного процесса на рабочем месте представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ на рабочем месте

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Приготовление реакционных смесей	Проведение синтеза на ротаторном испарителе	Результаты аналитического контроля	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	<p>Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведены в ГН 2.2.5.1313-03.</p> <p>ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [35].</p> <p>ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих [36].</p> <p>ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [29].</p> <p>СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [37].</p> <p>ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [38].</p> <p>Федеральный Закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [39].</p>
2. Превышение уровня шума	-	-	-	
3. Отсутствие или недостаток естественного света	-	-	-	
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	-	-	-	
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	
6. Химические вещества	+	+	+	

Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Так, в ходе исследования использовались химические вещества различных классов опасности, которые напрямую оказывают негативное влияние на состояние здоровья человека воздушно-капельным путём, через кожу [29]. Информация о веществах представлена в таблице 30.

Таблица 30 – Характеристика веществ, применяемых в исследовании

Вещество	Физические свойства	ПДК, мг/м ³ *	Класс опасности*	Воздействие на человека
L-Молочная кислота [40]	Вязкое, светло-желтого цвета со слабо ощутимым запахом	0,9	4	При проглатывании: желудочно-кишечные жалобы, тошнота, диарея, поражение печени и почек
Уксусная кислота [41]	Прозрачная бесцветная жидкость	5	3	Действуют раздражающе на слизистую оболочку верхних дыхательных путей; уксусная кислота вызывает также ожоги кожи.
Масляная кислота [42]	Бесцветная жидкость неприятного запаха	5	3	При попадании на кожу и в глаза вызывает химические ожоги.
Винная кислота [43]	Твердый, белый порошок с характерным запахом	3	3	Может причинить вред при проглатывании или при попадании на кожу. При попадании в глаза вызывает выраженное раздражение
Силикагель [44]	Стекловидные матовые зерна овальной формы от бесцветного до тёмного цвета	2	3	Риск развития силикоза
Хлороформ [45]	Бесцветная прозрачная жидкость с характерным запахом	20	2	Обладает наркотическими свойствами, хроническую интоксикацию.
Этилацетат [46]	Бесцветная прозрачная жидкость	200	3	Могут возникнуть раздражения оболочки глаз и слизистых дыхательных путей

* ПДК – предельно-допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны мг/м³

* Классы опасности: 1 класс опасности – чрезвычайно опасные; 2 класс опасности – высоко опасные; 3 класс опасности – умеренно опасные; 4 класс опасности – малоопасные.

В ходе исследования использовались вредные химические вещества, оказывающие влияние на организм человека. Как уже упоминалось ранее, целью социальной ответственности в отношении трудящихся является ликвидация жизненно-опасных ситуаций, поэтому необходимо соблюдать следующее:

1. Обязательное применение средств индивидуальной защиты: лабораторный халат, очки, перчатки, респираторы.
2. Следование правилам санитарно-гигиенических норм: тщательное мытьё рук после работы, исключения принятия пищи и напитков на рабочем месте и т.д.
3. Обязательное присутствие вытяжных шкафов для проведения исследований и регулярное проветривание помещений.
4. Хранение реактивов согласно их срокам годности и герметичности.

Отклонение от показателей микроклимата

Во время работы в научно-исследовательской лаборатории трудящийся находится под влиянием микроклимата внутренней среды помещения в соответствии с основными показателями воздуха:

- температура (t) – 19-21°C;
- относительная влажность – 60 - 64%;
- скорость движения воздуха (v) – 0,2 м/с.

Данные показатели соответствуют оптимальным условиям. Также, согласно [47] удовлетворяют требованиям для категории 2а.

Для поддержания оптимальных параметров микроклимата в лаборатории на постоянной основе устанавливается вентиляционная система, подающая чистый воздух в рабочую зону и выводящая загрязненный. Помимо этого, устанавливается локальная вентиляция/вытяжная (загрязненный воздух выводится с помощью

вентиляторов), собственно, для этого применяется вытяжной шкаф, где проводится исследовательская работа.

Освещение

Для работы в лаборатории наиболее предпочтителен комбинированный тип освещения. В рабочей зоне должны присутствовать как естественное, так и искусственное виды освещения, чтобы не вызывать перенапряжение глаз трудящихся и увеличить производительность труда. В соответствии с [48] для работы в лаборатории рекомендуется значение освещенности в пределах 400 лк на рабочих столах от общего освещения. В производственных помещениях оба вида освещения необходимо контролировать с помощью люксметра каждый год.

В помещениях с химически активной средой рекомендуется использовать светильники с корпусами из пластмассы и фарфора с отражателями, покрытыми силикатной эмалью, или светильники, специально предназначенные для этих условий [49].

Расчет искусственного освещения

В помещении лаборатории источниками искусственного освещения являются открытые двухламповые (ОД) люминесцентные лампы с мощностью 2x40 Вт, предназначенные для помещений с хорошим отражением потолка и стен; допускаются при умеренной запыленности и влажности.

Для расчета искусственного освещения необходимо знать размеры помещения: **H** – высота помещения, 4,5 м.; **a/A** – длина, 22 м.; **b/B** – ширина, 12 м. Высота рабочей поверхности в лаборатории **h_{rp}** = 0,8 м. Согласно [50] значение нормируемой освещенности для средней точности IV разряда составляет 300 лк (**E_n**). А также в соответствии с [50]: коэффициент отражения стен **R_c** = 50 %, потолка **R_n** = 70 %, поскольку потолок в помещении лаборатории свежей побелки, стены побелены в светлосливовый цвет с окнами без штор. Коэффициент запаса **K_з**=1,5, коэффициент неравномерности **Z** = 1,1.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Так как светильники в лаборатории относятся к открытым двухламповым, то $\lambda = 1,4$.

Приняв h_c (расстояние светильника от перекрытия) = 0,5 м, получаем h (высота светильника над рабочей поверхностью) = $4,5 - 0,5 - 0,8 = 3,2$ м.

L (расстояние между соседними светильниками или рядами) = $1,4 \cdot 3,2 = 4,5$ м; $L/3$ (потому что светильники расположены в 3 ряда) = 1,5 м.

В каждом ряду установлено по 10 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,654 м), при этом расстояние между светильниками в ряду равно 50 см. План помещения и размещения в нем светильников изображён на рисунке 20.

Учитывая, что в каждом светильнике установлено 2 лампы, общее число ламп в помещении $N = 60$. Находим индекс помещения по формуле:

$$i = S/h \cdot A + B$$

, где S – площадь помещения (192 м²), остальные величины известны и были представлены ранее. Следовательно,

$$i = 264/3,2 \cdot 34 = 2,4$$

Исходя из результата, по таблице, приведённой в [50], определяем коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,64$.

Зная все необходимые значения, рассчитываем световой поток лампы по следующей формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 264 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{60 \cdot 0,64} = 3403 \text{ лм.}$$

Определяем потребный световой поток лампы в каждом из рядов: по таблице, приведённой в [26] выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\text{Фл. станд.} - \text{Фл. расч.}}{\text{Фл. станд.}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq \frac{2850 - 3403}{2850} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 19,4\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки: $P = 60 \cdot 40 = 2400 \text{ Вт}$.

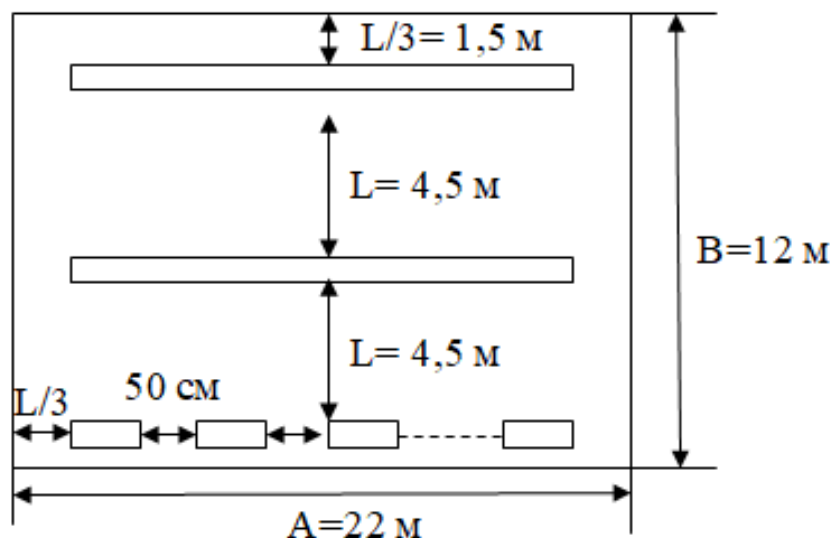


Рисунок 20 – План помещения и размещения в нём светильников

Зная все значения помещения, типы светильников для нормированного искусственного освещения и коэффициенты отражения стен и потолка, рассчитав световой поток, индекс помещения - приходим к выводу, что освещение данного лабораторного помещения соответствует необходимым нормам и пригодно для проведения научно-исследовательских экспериментов без вреда здоровью трудящихся.

Повышенный уровень шума

Оценку уровня шума в рабочих зонах проводят для соотнесения с установленными требованиями санитарных норм, для оценки шума от оборудования, с той целью, чтобы бороться с шумом. Чтобы оценить шум используют частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выражающийся в децибелах (дБ) в активных полосах частот, который затем сравнивается с предельным спектром. Согласно [51,52], уровень шума не должен быть в пределах установленных требований. Согласно [53] адекватные параметры шума составляют 80 дБ.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной работе не более 40 часов не должен вызывать отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы. Также, соблюдение ПДУ шума не исключает нарушение здоровья у сверхчувствительных лиц.

Электробезопасность

Электрооборудование должно быть устойчивым к условиям окружающей среды либо должно быть защищено от воздействий. Поскольку, например, сырость, жидкости, высокая температура окружающего воздуха увеличивают риск поражения током человека. Вдобавок, факторами возможного поражения током могут быть токопроводящие полы, а также близлежащих к электроприборам металлических заземлённых предметов, поскольку прикосновение человека и к этим предметам, и к оборудованию под напряжением может вызвать заряд электрического тока и пройти через тело человека. Лаборатория относится к особо опасным помещениям из-за химически активной среды (постоянное содержание агрессивных газов, паров, жидкостей, разрушающе влияющих на изоляцию электроприборов и их токоведущих частей), и одновременно двух или более условий повышенной опасности [54]. Чтобы предотвратить жизненно опасные ситуации из-за воздействия электрического тока, необходимо соблюдать правила защиты от поражения током согласно [55]. Также в связи с данной угрозой, электрооборудование в лаборатории должно иметь защитное заземление [56].

Напряжения прикосновения и токи, воздействующие на человека при нормальных условиях электроустановки не должны превышать: при переменном токе (50 Гц) <2 Ом и 0.3 Ам; при переменном (400 Гц) <3 Ом и 0.4 Ам; при постоянном <8 Ом и 1 Ам согласно [57].

Лабораторное помещение относят к 1-ому классу в соответствии с опасностью поражения электрическим током, либо наоборот, но без требующихся условий, создающих угрозу жизни человека [56].

Пожарная безопасность

Помещения рабочей зоны должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и быть оснащенными средствами пожаротушения [58,59].

Категория лабораторного помещения – П2 относительно степени пожароопасности из-за выделения пыли и волокон во взвешенном состоянии. Логично, риск возникновения пожаров и взрывов в помещении напрямую зависит от количества имеющихся материалов/веществ и их свойств, от особенностей конструкций и условий работы оборудования, а также от наличия очагов, вызывающих быстрое возгорание. Научные исследования проводились в лаборатории Научного Парка НИ ТПУ и помещение соответствует всем установленным мерам согласно нормативным документам для ликвидации возникновения пожаров. Также для предотвращения пожара в помещении лаборатории выходы специально не загромождаются, а также проход между лабораторными столами свободен. Также все сотрудники ознакомлены с инструкцией и планом эвакуации, так как прохождение инструктажа по технике безопасности является обязательным.

Для тушения пожаров, если они возникли, в лаборатории всегда имеются следующие средства:

- ручной пенный огнетушитель ОХП-10 (предназначен для тушения пожаров твердых горючих материалов, ЛВЖ)
- ручной воздушно-пенный огнетушитель ОВП-10 (предназначен для тушения многих веществ/материалов, кроме щелочных металлов и веществ, горящих без доступа воздуха, а также электроприборов под напряжением)

- асбестовое одеяло (используется для тушения обесточенных электропроводов, горячей одежды)

- песок (для тушения обесточенных горящих проводов на горизонтальной поверхности).

Алгоритм использования огнетушителей: поднести огнетушитель к источнику пожара на дистанции не менее 1 метра, при помощи иглы/гвоздя прочистить спрыск, рычаг повернуть до отказа до 180°, перевернуть огнетушитель вверх дном и направить струю на огонь.

4.3 Охрана окружающей среды

Молочная кислота не оказывает негативного влияния на окружающую среду, тогда как хлороформ, этилацетат и карбоновые кислоты (уксусная, масляная, винная) оказывают пагубное воздействие.

Как уже упоминалось, рабочие зоны в лабораториях должны быть оснащены вентиляционными установками для подачи чистого воздуха и вывода загрязненного. Химическое загрязнение окружающей среды – это изменение естественных химических свойств среды, в результате которого происходит превышение норм концентраций веществ в воздухе [60].

Так, загрязнение атмосферы влияет на человека и окружающую среду по-разному, но самое страшное это летальный исход.

Потребление воды важно на химическом предприятии, поскольку она используется в быту (мытьё химической посуды) и для производства многих важнейших соединений (кислоты, щелочи, спирты и т.д.). Однако именно последние являются важнейшими загрязнителями водных субъектов.

Органический и неорганический сливы утилизируются в определённо назначенные места.

Вода, применяемая для мытья грязной химической посуды всё же, частично остаётся в водоёмах, в качестве очень загрязнённых сточных вод,

что ведёт к трудностям процессов самоочищения водоёмов и подавляет жизнедеятельность водных организмов.

4.4 Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях

Ключевой фактор соблюдения безопасности жизнедеятельности - это всегда быть наготове к всевозможным чрезвычайным ситуациям (ЧС).

В соответствии с ГОСТ Р22.0.02-2016 ЧС представляет собой состояние, при котором возникает угроза жизни и наносится имуществу населения в результате появления очага ЧС на объекте, или на конкретной территории.

ЧС по причинам возникновения классифицируют следующим образом:

1. Стихийные бедствия. Если только возникает стихийное бедствие или военный конфликт сотрудники обесточивают лаборатории, перекрывают подачу воды и эвакуируются. Наиболее характерные стихийные бедствия - наводнения, бури, ураганы, пожары. В лаборатории разработаны специальные мероприятия по ликвидации и уменьшения возможного ущерба имуществу и персоналу. К числу таких мероприятий относиться соблюдение специфических мер безопасности, оповещение сотрудников, специальная подготовка и оснащение помещений, оказание первой помощи пострадавшим.

2. Техногенные аварии. В результате производственной аварии в помещении лаборатории может возникнуть возгорание, прорыв отопительной системы, распространение ядовитых веществ и т.д. В этом случае необходимо эвакуировать персонал и студентов из лаборатории, локализовать распространение ядовитых веществ или пламени, вызвать спецслужбы, пострадавшим оказать первую помощь. В случае, когда в лаборатории атмосфера оказалась заражена ядовитыми веществами, сотрудникам и студентам необходимо надеть противогазы и обесточить лабораторию. После дезактивации ядовитых веществ помещение лаборатории должно быть проветрено. Если возникло возгорания в

зависимости от объекта возгорания необходимо применять различные виды средств пожаротушения:

- В случае разлива и возгорания ЛВЖ и ГЖ необходимо засыпать их песком для ликвидации;
- Если возгорание распространилось на одежду можно применять воду;
- Если возгорание произошло вблизи работающей электроустановки необходимо применить порошковый огнетушитель;
- В случае возгорания лабораторных установок закрепленных на штативе необходимо воспользоваться асбестовым одеялом.

3. Социально-политические. В случае возникновения военных (социальных) конфликтов и нападения противника в химической лаборатории выполняются следующие мероприятия:

- Удаление горючих веществ;
- Герметизация;
- Оклеивка окон от воздействия ударной волны.

В случае возгорания аварии в помещении лаборатории, необходимо эвакуировать трудящихся, так как ПДК химических веществ в воздухе может подняться. Предотвратить распространение пожара/ядовитых химических веществ и обесточить лабораторию. Необходимо вызвать специальные службы и оказать первую помощь нуждающимся. При этом персоналу необходимо обезопасить себя средствами индивидуальной и коллективной защиты. После ликвидации чрезвычайной ситуации помещение должно быть проветрено для выведения загрязненного воздуха [61].

Заключение

Помещение лаборатории должно соответствовать всем требованиям техники безопасности, приемлемым условиям охраны труда, а также все трудящиеся должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты. При нарушении данных требований могут возникнуть такие

неблагоприятные и опасные ситуации, как: воздействие вредных химических веществ, взаимодействие с электрооборудованием, шумоизоляцией. Освещение в лаборатории комбинированного типа, то есть присутствует как естественное, так и искусственное освещения. Расчет искусственного освещения показал, что рабочее помещение соответствует нормам, а также является приемлемым для проведения научных исследований, исключая неблагоприятные последствия здоровья трудящегося (перенапряжение глаз).

Заключение

Полимеры на основе лактида также широко используются для изготовления медицинских изделий различного назначения. Важными свойствами полимеров на основе молочной кислоты являются нетоксичность, биорезорбируемость и совместимость с организмом человека, вследствие чего практически не происходит отторжения таких изделий и сокращается время реабилитации после оперативного лечения.

В настоящее время синтез лактида осуществляют различными способами. Наиболее распространенным является синтез лактида из олигомера молочной кислоты. При этом, синтез лактида сопровождается проблемами: увеличение вязкости реакционной среды, что приводит к плохому тепловому и массовому обмену, ухудшению отгонки воды, к длительности процесса концентрирования и образованию различных побочных продуктов.

В ходе аналитического контроля было определено, что при синтезе ОМК более активным катализатором проявил себя мелкодисперсный силикагель, так как его молекулярная масса выше, в сравнении с крупнодисперсным силикагелем.

При дальнейшей деполимеризации модифицированного ОМК был получен лактид-сырец с хорошим выходом. Самый высокий процент выхода лактида-сырца оказался при использовании винной кислоты в качестве модификатора. Таким образом, использование данных модификаторов при синтезе ОМК позволяет получить лактид-сырец большей чистоты.

Список публикаций

1. Репкин Д. С. Прямое вольтамперометрическое определение Галодифа // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых, Томск, 20-23 Мая 2019. - Томск: ТПУ, 2019 - С. 270-271

2.

Список используемых источников

1. Кулезнев В. Н., Шершнева В. А. Химия и физика полимеров. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007.
2. Bastioli, editor, Catia (2005). Handbook of biodegradable polymers. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, U.K.: Rapra Technology.
3. Полимеры. Энциклопедия полимеров. Том 1. - Ред. коллегия: В. А. Каргин (глав. ред.) [и др.] Т.1. А-К. М., Сов. Энци., 1972. 1224 стб. с илл.
4. Веселовский В. С. Графит. - 2 изд. - М.: Металлургия, 1960. – 180с.
5. Тагер А. А. Физико-химия полимеров, М.: Научный мир, 2007. – 48с.
6. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2006. С. 29-30.
7. Флид М. Р., Трегер Ю. А. Винилхлорид: химия и технология. В 2 книгах. - М.: Калвис, 2008. - 584 с.
8. Leaversuch R. Thermoplastic polyesters: It's a good time to know them better // Plast. Tech., 2004. № 6.
9. Vroman, Isabelle; Tighzert, Lan (1 April 2009). «Biodegradable Polymers». Materials. 2 (2): P.307–344.
10. Hamad K. Properties and medical application of polylactic acid: F review\ K. Hamad, M. Kaseem, H.W.Yang, F. Deri, Y.G. Ko\\ Express Polymer Letters Vol.9,№5 p.435-455.
11. C.J. Weber, V. Haugaard, R. Festersen, G. Bertelsen, Production and applications of biobased packaging materials for the food industry, Food Addit.Contam. 19 (2002) 172-177.
12. R.M. Rasal, A.V. Janorkar, D.E. Hirt, Poly(lactic acid) modifications, Prog. Polym. Sci. 35 (2010) 338-356.
13. R.M. Rasal, A.V. Janorkar, D.E. Hirt, Poly(lactic acid) modifications, Prog. Polym. Sci. 35 (2010) 338-356.

14. S. Mattioli, M. Peltzer, E. Fortunati, I. Armentano, A. Jimenez, J.M. Kenny, Structure, gas-barrier properties and overall migration of poly(lactic acid) films coated with hydrogenated amorphous carbon layers, *Carbon* 63 (2013) 274-282.
15. J.W. Rhim, S.I. Hong, C.S. Ha, Tensile, water vapor barrier and antimicrobial properties of PLA/nanoclay composite films, *LWT - Food Sci. Technol.* 42 (2009) 612-617.
16. Boehringer Ingelheim – История компании. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Boehringer_Ingelheim (дата обращения 29.03.2020).
17. Abdel-Rahman, M. A., Tashiro, Y., and Sonomoto, K. (2011). «Lactic acid production from lignocellulose-derived sugars using lactic acid bacteria»: Overview and limits, *J. Biotechnol.* 156(4), 286-301. DOI: 10.1016/j.jbiotech.2011.06.017.
18. Komesu, A., Oliveira, J. A. R. d., Martins, L. H. d. S., Wolf Maciel, M. R., and Maciel Filho, R. (2017). «Lactic acid production to purification: A review» *BioRes.* 12(2). 4364-4383.
19. Inkinen S. From Lactic Acid to Poly(lactic acid) (PLA): Characterization and Analysis of PLA and Its Precursors/ S. Inkinen, M. Hakkarainen, A-C. Albertsson, A. Södergård// *Biomacromolecules*. – 2011. – с. 523-532.
20. Yoo D.K. Synthesis of Lactide from Oligomeric PLA: Effects of Temperature, Pressure, and Catalyst/ D.K. Yoo, D.J. Kim// *Macromolecular Research*. – 2006. – с. 510-516.
21. Undri A. Conversion of poly(lactic acid) to lactide via microwave assisted pyrolysis/ A. Undri, L. Rosi, M. Frediani, P. Frediani// *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. – 2014. – с 55-65.
22. Wen-Jun Yi, Li-Jun Li, Zhen Hao, Min Jiang, Chang Lu, Yi Shen, Zi-Sheng Chao. Synthesis of L-Lactide via Degradation of Various Telechelic

Oligomeric Poly (L-lactic acid) Intermediates. Ind. Eng. Chem. Res. 2017, 56, 4867–4877.

23. Harris, Daniel C. (1999). "24. Gas Chromatography". Quantitative chemical analysis (Chapter) (Fifth ed.). W. H. Freeman and Company. pp. 675–712. ISBN 978-0-7167-2881-8.

24. Grob, Robert L.; Barry, Eugene F. (2004). Modern Practice of Gas Chromatography (4th Ed.). John Wiley & Sons. ISBN 978-0-471-22983-4.

25. Беленький Б.Г. Хроматография полимеров. Б.Г. Беленький, Л.З. Виленчик. – М.: Химия, 1978. – с. 344.

26. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.

27. Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК), 4-е издание, 2008 г.

28. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: Учебное пособие. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.

29. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).

30. Приложение № 8 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы.

31. Приложение № 7 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы.

32. Приложение № 10 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы.

33. Приложение № 11 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы.

34. Приложение № 12 Коллективного договора Томского политехнического университета на 2019-2021 годы.

35. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

36. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
37. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
38. ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
39. Федеральный Закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
40. Молочная кислота 80%. Паспорт безопасности, ГОСТ 30333-2007. CarlRoth. 28.10.2016. 12 с.
41. ГОСТ 61-75. Реактивы. Кислота уксусная. Технические условия. [Текст].-введ. 01.04.75.- М.: [Электронный ресурс] <http://docs.cntd.ru/document/gost-61-75>
42. ГОСТ 30333-2007 Масляная кислота 99% [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-3277-RU-RU.pdf>
43. ГОСТ 30333-2007 Винная кислота. Технические условия. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-3277-RU-RU.pdf>
44. ГОСТ 3956-76. Силикагель технический. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3). Министерство химической промышленности СССР. Дата введения: 01.01.1977.
45. ГОСТ 20015-88. Хлороформ. Технические условия (с Изменением N 1). Министерство химической промышленности СССР. Дата введения: 01.01.1990.
46. ГОСТ 22300 – 76. Реактивы. Эфиры бутиловый и этиловый уксусной кислоты. Технические условия. [Текст].-введ. 01.07.77.- М.: Минхимпром, 2002.- 14 с.
47. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных

помещений» (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г. N 21).

48. Васендин, В. Н. Расчет освещения помещений: метод. указания к лабораторной работе / В. Н. Васендин, Д. А. Кобалева. – Нижний Тагил: НТИ (ф) ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 28 с.

49. СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение (с Изменением №1).

50. О.Б. Назаренко. Безопасность жизнедеятельности. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 20 с.

51. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

52. ГОСТ 17187-81. Шумомеры. Общие технические требования и методы.

53. Федеральный закон РФ от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».

54. Техника безопасности в электроэнергетических установках: справочное пособие / под ред. П. А. Долина. — Москва: Энергоатомиздат, 1987. — 400 с.: ил.

55. ГОСТ ИЕС 61140-2012 Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования (с Поправкой).

56. ГОСТ Р 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

57. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)

58. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением №1).

59. ГОСТ 12.4.009-83 ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание (с Изменением №1).

60. Ларионов Н. М. Промышленная экология: учебник для бакалавров / Н. М. Ларионов, А.С. Рябышенков. М: Издательство Юрайт, 2013. 495с.

61. Мастрюков, Борис Степанович. Безопасность в чрезвычайных ситуациях в природно-техногенной сфере. Прогнозирование последствий: учебное пособие / Б. С. Мастрюков. — Москва: Академия, 2011. — 368 с.

Приложение А

Lactide synthesis from lactic acid oligomers

1 Literature review

- 1.1 Polymers classification, basic characteristics and properties
- 1.2 Low-molecular compounds
- 1.3 High-molecular compounds
- 1.4 Biodegradable polymers
 - 1.4.1 Biodegradable polymers application
- 1.5 Polylactide
- 1.6 Lactic acid
- 1.7 Lactide
- 1.8 Theoretical foundations of physico-chemical methods of analysis
 - 1.8.1 Gas chromatography (GC)
 - 1.8.2 Gel permeation chromatography (GPC)

2 Experimental part

- 2.1 Raw materials characteristics
- 2.2 Laboratory equipment
 - 2.2.1 Rotary evaporator for lactic acid synthesis
 - 2.2.2 Raw-lactide synthesis equipment
- 2.3 The experiment performance
 - 2.3.1 Lactic acid oligomer obtaining method
 - 2.3.2 Raw-lactide obtaining method
 - 2.3.3 Analytical control method
- 2.4 Results discussion
 - 2.4.1 Lactic acid oligomer synthesis
 - 2.4.2 Lactic acid oligomer depolymerization

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
--------	-----	---------	------

9ДМ81	Репкин Дмитрий Сергеевич			
Консультант–лингвист отделения (НОЦ) школы				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Устюжанина А.К.	к.ф.н.		

1 Literature review

1.1 Polymers classification, basic characteristics and properties

The main polymers characteristics are:

1. The chemical composition;
2. The molecular mass of chemical units (for one unit, and the whole molecule);
3. The number of monomers in the molecule (polymerization level);
4. Molecular mass distribution;

Polymers are classified according to the following criteria:

1. Molecular mass:
 - oligomers (MM less than 5000);
 - polymers (MM 5000-500000).
2. Branching of molecules:
 - linear (monomers chain);
 - branched (chain having a side branch);
 - crosslinked (neighboring macromolecules are connected by transverse bonds).
3. The composition of the monomer:
 - homopolymers (one type of link);
 - copolymers (different link structures).
4. Polymer structure:
 - crystalline;
 - amorphous (low content of crystalline structures, cross-linked polymers);
 - amorphous-crystalline (25-70% content of crystalline structures).
5. Chemical composition: organic and inorganic polymers.

The properties of polymers include:

1. Mechanical:
 - elasticity;
 - fragility (crystalline and glassy polymers);

- impact value;
- strength.

2. Optical: some are used as matrices in the amplification medium of solid-state dye lasers, also known as solid-state lasers based on dye-doped polymers. These polymers have a high surface quality and also have high transparency; therefore, the laser dye used to dope the polymer matrix predominates in the laser properties. An important optical parameter in the polymer used in laser applications is the change in refractive index with temperature.

3. Chemical: dipole-dipole bonds of the side chains provide the polymer with high flexibility. The van der Waals forces bonding chains in the polymer are weak, giving it a low melting point.

1.2 Low-molecular compounds

Oligomers are low molecular weight polymers containing a small number of repeating units whose physical properties are largely dependent on chain length. Oligomers are essentially intermediate products of the polymerization reaction, which find a wide direct application in materials science. Step polymerization occurs one stage at a time through a series of simple organic reactions, such as addition-elimination reactions used to produce polyesters and polyamides, or addition to multiple bonds used to produce polyurethanes and polyalkylenesulfides. Depolymerization of high polymers and chemical modification of oligomeric compounds are additional ways of synthesizing oligomers [1].

1.3 High-molecular compounds

High molecular weight compounds are molecules interconnected by a multitude of monomers. Such molecules are called polymers. The meaning of «polymer» comes from the Greek word «many parts» [2]. In some cases, polymers form branched rather than separate chains. Regardless of their shape, the molecules are very large. In fact, they are so large that scientists classify them as macromolecules.

Polymer chains can include hundreds of thousands or even millions of atoms. A longer polymer chain forms long polymers endowing the material with properties such as a higher melting point and strength. The long-chain also makes the polymer more viscous, due to its surface area, which causes them to adhere to neighboring molecules [3]. In synthetic polymers, each chain link will be identical to the adjacent, while in natural polymers the links will be different.

Wool, cotton, and silk are natural polymeric materials that have been used since ancient times. Cellulose, the main component of wood and paper, is also a natural polymer. Others include starch molecules derived from plants. Inorganic polymers are also found in nature, bound into a network giving them hardness and strength, these are graphite and diamond [4].

A chemical bond is what holds atoms in a molecule and in some crystals. Atoms, which usually form only two chemical bonds, such as oxygen, do not often form long polymer chains. Since many atoms that are part of the backbone of a polymer usually have at least one side group, the elements that usually appear in the polymer chain are those that become stable with four bonds, such as carbon and silicon [5].

Some polymers are flexible, others are very rigid. For example, plastics, the material in the flexible soda bottle is very different from the material in the rigid pipe made of polyvinyl chloride (PVC), which is made by bonding long chains of monomers. It consists of two carbon atoms, three hydrogen atoms, and one chlorine atom [6, 7].

The problem of all synthetic polymers from which plastic containers, tire covers, and packages [8] are made is their huge accumulation. This pollutes the planet, so in the modern world, where there is a problem of recycling synthetic polymers, biodegradable polymers are being developed.

1.4 Biodegradable polymers

Packaging waste from non-biodegradable polymers has become a significant part of municipal solid waste, which leads to an increase in environmental

problems. Packaging material is also an obvious source of garbage, which poses a serious problem for waste management. Among these materials, polyethylene (PE) is the most commonly used polymer for oil-based packaging [9].

The decomposition process, after burial for PE or other types of petroleum-based polymers, is extremely difficult, which creates various levels of soil contamination over the long term. To solve this problem, much attention was paid to the development of biodegradable polymers from renewable resources, which is also due to the global environmental problem. The decomposition of biodegradable polymers located in bioactive environments (landfills) occurs due to microorganisms (bacteria, fungi) through enzymatic catalysis processes. Polymer chains can also be destroyed by non-enzymatic processes, such as chemical hydrolysis. Final products of biodegradable polymers typically include CO₂, CH₄, water, biomass, and other natural substances that are related to potential benefits for balancing the greenhouse effect and other environmental impacts.

Biopolymers come from various natural components: starch, cellulose, chitosan, and proteins of plant and animal origin. These natural polymers are attractive alternatives for biodegradable and plastic packaging based on petroleum or synthetic materials due to their environmental friendliness. The most common biomaterials, today - cellulose and starch, due to their renewability, low cost [9].

Biodegradable polymers can be classified into various types according to their synthesis processes and sources, which are shown in Figure 1.

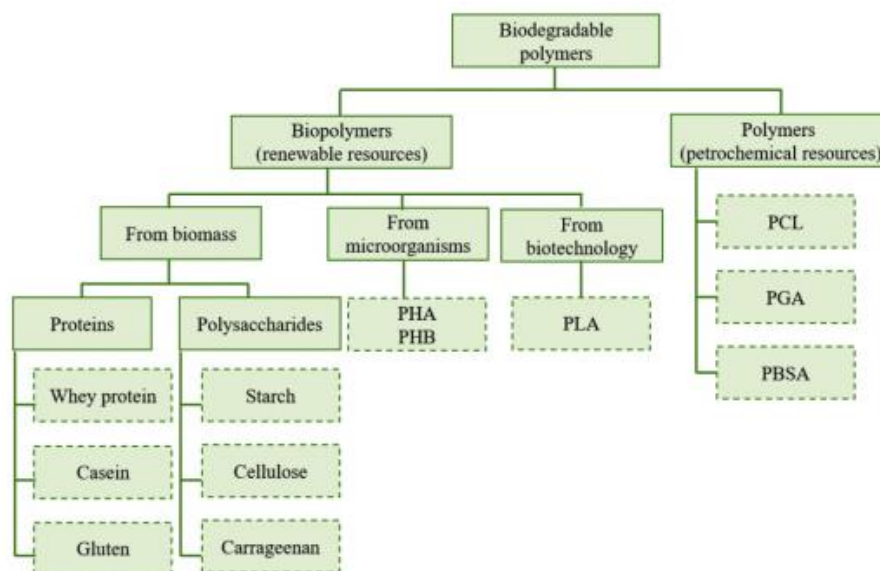


Figure 1 - Biodegradable polymers classification

1.4.1 Biodegradable polymers application

Biodegradable polymers are widely used in medicine. Due to the high biocompatibility of polylactide (PLA), it is used for the manufacture of medical devices. Such products are affected by the biological environment of the body. PLA is used to create implants, scaffolds, tires, surgical sutures, braces, clamps, surgical masks, and dressings.

The advantage of this polymer is used for controlled drug delivery. In such a polymer, medicinal substances can be placed for targeted release, which undergoes degradation into non-toxic materials, they are naturally excreted from organisms [10].

In industry, biodegradable polymers are used as food packaging, grocery bags, and bags. The question of creating packages of biodegradable polymers is relevant, as people throw away plastic every day, which begins to accumulate in huge masses, which clogs the planet [11].

1.5 Polylactide

Polylactide is a biodegradable, thermoplastic polymer obtained by polycondensation of the optical isomers (L-MK or D-MK) of lactic acid. By direct polycondensation of lactic acid, a low molecular weight polylactide is obtained [12].

The advantage of this polymer is its ability to safely collapse under the influence of the environment under aerobic and anaerobic conditions. The decay products of this polymer are processed by microorganisms. The decay proceeds in several stages:

1. Hydrolytic decomposition of macromolecules;
2. Processing of monomer into biogenic organic compounds (acids, alcohols);
3. Conversion to carbon dioxide and water.

Poly lactide demonstrates good heat treatability, which allows the use of various methods of its processing, such as injection molding, blowing, injection, fiber spinning, thermoforming. Also, PLA has an average level of permeability to water and oxygen, comparable to polystyrene. However, PLA has a low resistance to oxygen penetration and is also brittle with a relative elongation of less than 10% at break [13-15].

1.6 Lactic acid

In 1780, the Swedish chemist Karl Wilhelm Scheele isolated lactic acid from sour milk and believed that it was part of milk. However, in 1856, Louis Pasteur discovered that it was a fermentation product. Commercially, lactic acid began to be produced at the Boehringer Ingelheim pharmacy in 1895 [16].

In industry, lactic acid can be obtained by chemical synthesis or fermentation. LA is usually synthesized as a result of bacterial fermentation or from petrochemical products [17]. Although racemic lactic acid is always produced by chemical synthesis from petrochemical resources, optically pure L(+) or D(-) lactic acid can be obtained by microbial fermentation of renewable resources. Of the two optical isomers (Fig. 2), L-isomer is preferred, since D-LA hurts humans.

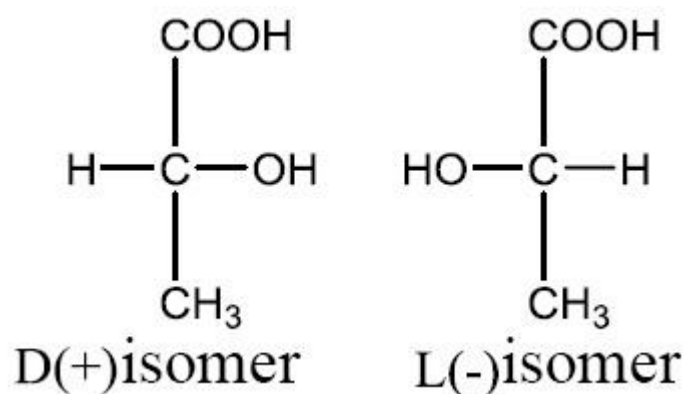


Figure 2 – LA optical isomers

Depending on the application, one form of optically pure lactic acid is preferable to another. Also, microbial fermentation offers advantages, including cheap renewable substrates, low production temperatures, and low energy consumption. Ways to obtain LA are presented in Figure 3 [18].

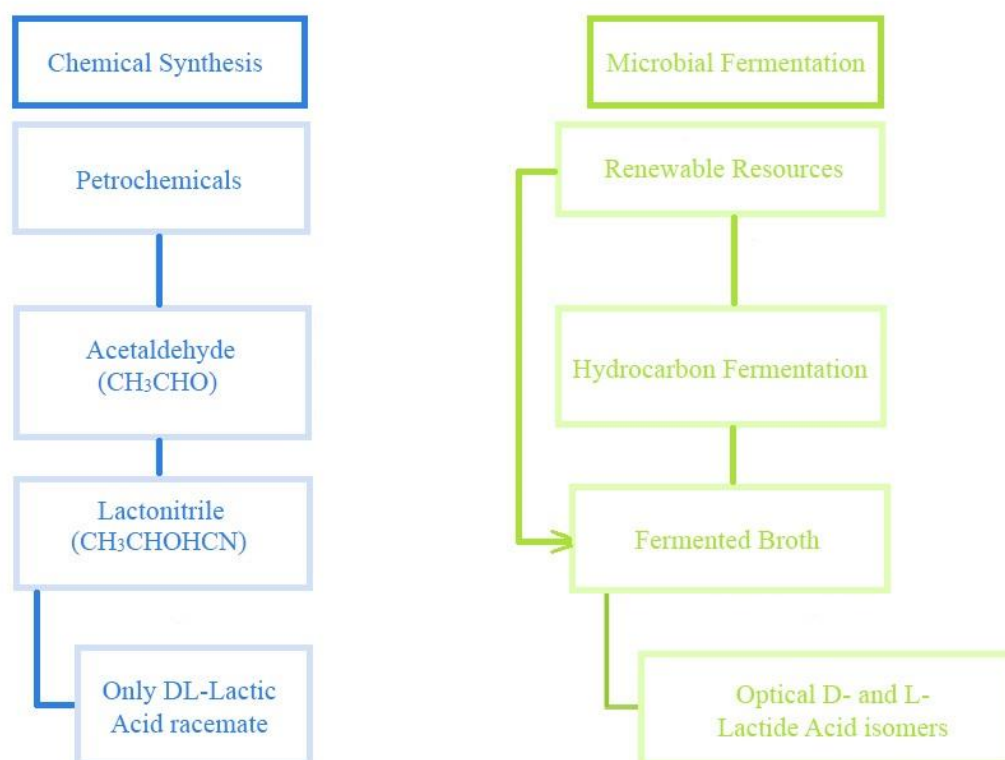


Figure 3 - Methods for producing lactic acid

1.7 Lactide

Lactide is a lactic acid dimer. It is the main raw material in the manufacture of polylactide. In appearance, lactide is a white crystal. Like MK, lactide has isomeric forms (L-, D-, m-lactide).

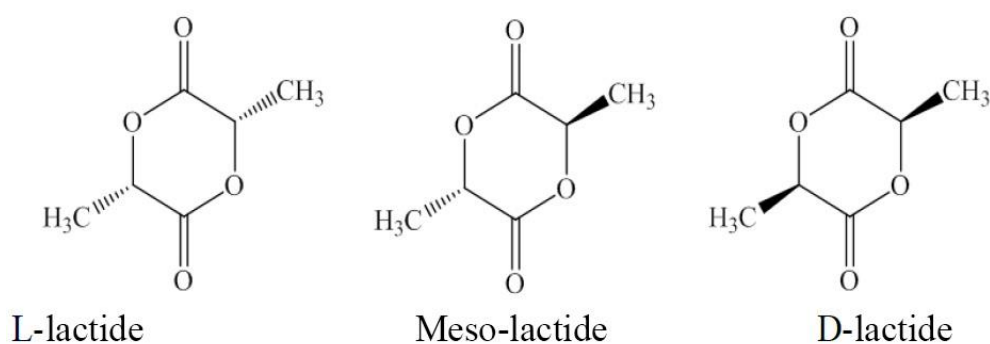


Figure 4 – Lactide isomers

The main raw material for the synthesis of lactide is lactic acid. Existing methods for the synthesis of lactide:

1. Dehydration of a lactic acid solution with lactide extraction

In this method [19], the liquid phase of the feedstock is processed, where water is removed and cyclic esters are formed, i.e. an esterification reaction occurs. At high temperatures, water is removed from the lactic acid solution. Next, the oligomer is subjected to processing, where the output is cyclic ether.

2. Depolymerization of lactic acid oligomer

This technique (Fig. 5) is the preparation of a lactic acid oligomer using a catalyst and its further depolymerization at low pressure and high temperature; crude lactide is obtained at the output [20]. The problem with this technique is the number of stages in which raw lactide is obtained, the amount of time and energy spent.

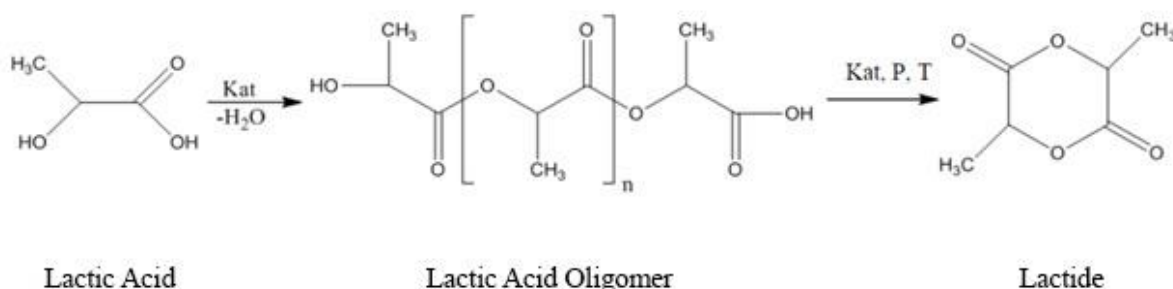


Figure 5 – Scheme for lactide synthesis from lactic acid

3. Thermal destruction of polylactide waste

Using microwave pyrolysis of polylactide, L-lactide is separated from liquids containing lactide itself, as well as other organic compounds. Thus, 27.7%

of reduced lactide was obtained [21]. This method should be used as an auxiliary for obtaining polylactide from waste since it has a small percentage of yield.

4. One-step method for the synthesis of lactide

In this technique, raw lactide is obtained directly from a lactic acid solution [22]. The reaction flask was placed in a heated polysiloxane bath, which is connected to a distillation unit with a trap for a vacuum pump, which is cooled with liquid nitrogen. With the formation of the oligomer, it is depolymerized to lactide, a flask with a sealed finger to measure temperature, and a tube for argon flow is also connected, because it is necessary to carry out degassing, maintaining an inert environment. Raw lactide was collected in three flasks for sampling by vapor temperature. The process is carried out with a gradual decrease in pressure (1000...5 mbar), and the temperature rises from 125 to 200°C. This synthesis method is more advantageous in time, which takes 5 hours.

Obtaining lactide is an intermediate stage of obtaining polylactide.

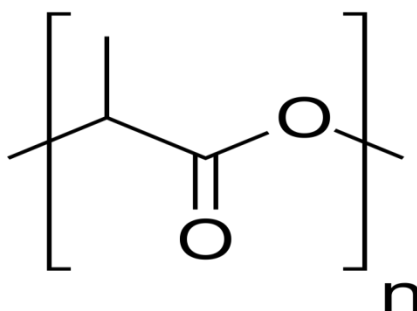


Figure 6 - The polylactide structural formula

Before obtaining a high molecular weight polymer, the lactide must be purified by recrystallization in acetonitrile from impurities: lactic acid oligomer, m-lactide, water, lactic acid.

Currently, the synthesis of lactide usually consists of the following stages:

1. Obtaining LA oligomer;
2. LA oligomer depolymerization to lactide;
3. Purification of raw lactide.

1.8 Theoretical foundations of physico-chemical methods of analysis

The analysis methods used in the work:

1. Gas chromatography (GC);
2. Gel permeation chromatography (GPC).

1.8.1 Gas chromatography (GC)

Gas chromatography separates volatile thermostable compounds. Only 5% of known organic compounds fulfill this requirement, but 70-80% of the compounds used in production and everyday life remain from such a small fraction of compounds [23]. Inert gas (carrier gas) performs the mobile phase, which passes through the stationary. It transfers the separated components along the chromatographic column without interacting with the separated substances and the stationary phase. Usually, hydrogen, helium, argon, nitrogen are used in the mobile phase. Due to its low cost and availability, nitrogen can also be used. The advantages of gas chromatography are a wide range of applicability, that is, applicable to compounds in which the saturated vapor pressure is 0.001...1 mm Hg; relatively quick analysis, about 40...60 minutes; the high accuracy of the determination of small compounds and gases [24].

The device itself is equipped with injectors (sample injection unit), a thermostat with a chromatographic column, detectors, as well as a recording device. The carrier gas under given pressure and speed passes through the column, then through the detector. The determination is carried out at the required constant temperature, which is set by the program.

1.8.2 Gel permeation chromatography (GPC)

Gel permeation chromatography (GPC) is an analytical technique that separates dissolved macromolecules by size based on their elution from columns filled with porous gel. The sorption activity of components and mass transfer is determined by the diffuse mobility of macromolecules and the ratio of their sizes to pore sizes [25]. GPC is not much different from other methods of liquid chromatography and is also carried out in chromatographic columns. Samples are dissolved in a suitable solvent, usually organic solvents, and after filtering the solution, they are introduced into the column where the separation of the

multicomponent mixture occurs. A constant supply of eluent to the column is carried out using a pump. The device is also equipped with a detector. For additional information about a substance, several detectors can sometimes be used.

GPC is used to measure absolute molecular weight, molecular size, and the ability to generate information about the macromolecular structure and other properties.

2 Experimental part

2.1 Raw materials characteristics

Lactic acid. In the work, we used an 80% solution of lactic acid from Purac (Netherlands). It is a clear liquid without sediment. It has the following characteristics: molar mass: 98.08g/mol; density: 1.225g/cm³; boiling temperature: 122°C.

Modifiers:

Acetic acid (CH₃COOH) - GOST 61-75 (amend. 3);

Butyric acid (C₄H₈O₂) - GOST 30333-2007;

Tartaric acid (HOOCCH(OH)CH(OH)COOH) - GOST 5817-77.

Catalysts:

Silica gel - GOST 3956-76. Hydrophilic, loose transparent material.

Solvents:

Chloroform (CHCl₃) is a colorless liquid, volatile, has an ethereal odor. Boiling temperature: 61.1°C; the molar mass: 119.38g/mol.

Ethyl acetate (C₄H₈O₂) is a colorless liquid, volatile, has a pungent odor. Boiling temperature: 77.1°C; the molar mass: 88.11g/mol.

2.2 Laboratory equipment

2.2.1 Rotary evaporator for lactic acid synthesis

The lactic acid oligomer was prepared on a «Heidolph» rotary evaporator (Fig. 7), with a vacuum pump and an argon pad connected. To maintain the operating temperature, an oil bath is used, with temperature sensors, as well as a speed sensor for the reaction flask.



Figure 7 - Rotary evaporator for LAO synthesis

2.2.2 Raw-lactide synthesis equipment

The setup is shown in Figure 8, which is a mechanical forceps holder holding the reaction flask. Under the flask is a metal stand, which is located on a tile with a thermocouple, which maintains the operating temperature. A thermometer is connected to the reaction flask to measure the temperature of the vapors, as well as a tube through which the raw lactide is distilled into the flasks. The available 3 receiving flasks are connected by a spider nozzle, which allows you to separate into fractions according to the boiling point of the vapor. The spider nozzle is connected to a trap for a vacuum pump cooled by liquid nitrogen. There is also an input from an argon pad, which provides an inert environment.



Figure 8 – Raw-lactide synthesis equipment

2.3 The experiment performance

2.3.1 Lactic acid oligomer obtaining method

To obtain LAO, an 80% Purac lactic acid solution is loaded into the flask with the addition of silica gel in an amount of 1% by weight of LA, as a catalyst and carboxylic acid, as a modifier, also in an amount of 1% by weight of MK. Then the flask is connected to a rotary evaporator with a speed of 60 rpm. The reaction is carried out in an inert medium (argon). Water is distilled off in the initial period at a pressure of 800 mbar and a temperature of 125°C. Over time, the temperature of the oil bath rises to 150°C, with a simultaneous drop in pressure, up to 5 mbar.

At the final stage of free water distillation, the accumulation of oligomeric structures of lactic acid begins, accompanied by the inevitable formation of reaction water, i.e. the polymerization process takes place. The synthesis of the oligomer takes 5 hours. Within the indicated temperature limits, reaction water is cleaved from the lactic acid molecules due to the energy of the supplied heat under vacuum. Under these conditions, the formation of dimeric and more complex linear polymer structures of lactic acid proceeds, which entails a change in the physicochemical properties of the reaction mass.

In more detail, LAO synthesis parameters, with time dependences on pressure (Fig. 9), and on temperature (Fig. 10) are given below.

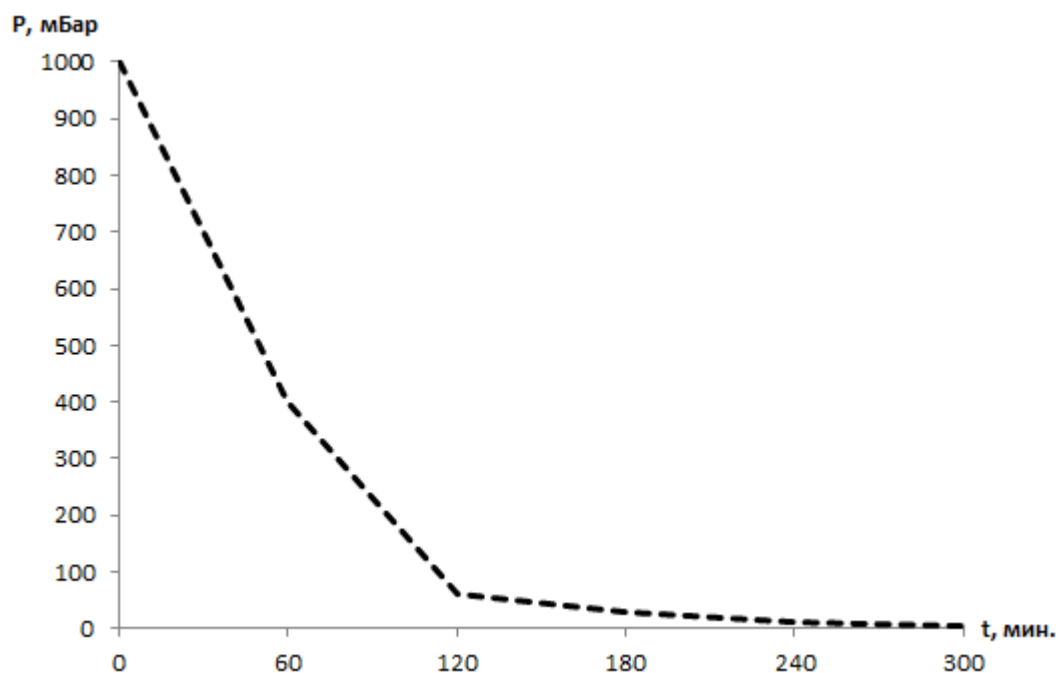


Figure 9 – LAO synthesis parameters

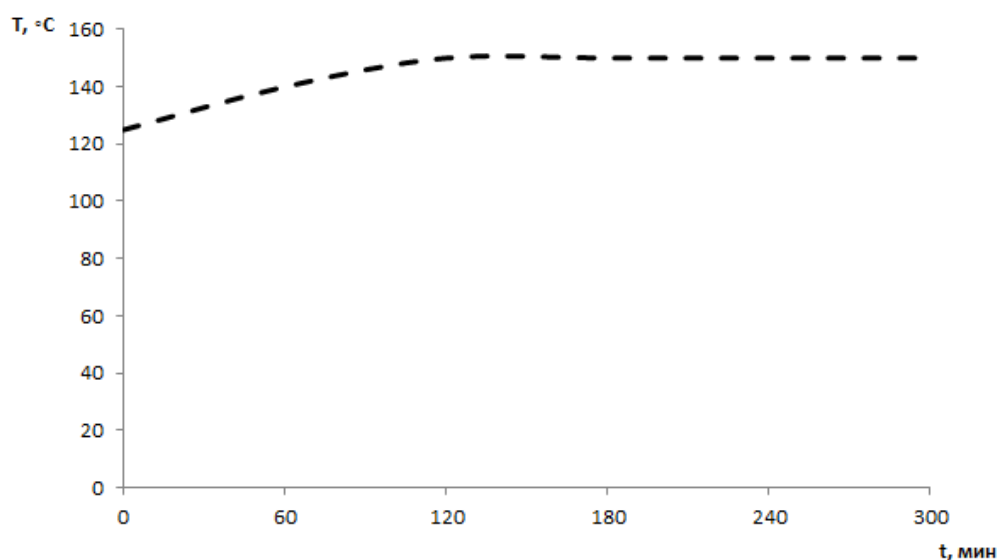


Figure 10 – LAO synthesis parameters

In the process of concentrating LA and obtaining LAO at low pressure, water and partly LA are distilled off, as a result of which the oligomer yield decreases.

2.3.2 Raw-lactide obtaining method

Depolymerization is carried out in a stream of nitrogen, vacuum (at a pressure of 7mbar, and a temperature of 255°C. During the reaction, raw lactide is collected in the collection.

A mixture of water vapor, lactide and the light fraction of the oligoester carried away by them is fed to a distillation column, which ensures separation and returns to the reactor of the unreacted light fraction of the oligoester. A gas-vapor mixture containing water and lactide vapors, as well as volatile decarboxylation products (CO₂), decarbonylation (CO) and other thermal decomposition products enter the heat exchanger, and then at temperature, it is sent to the lactide collector.

Distilled at a vapor temperature of 140...160°C, the crude lactide fraction was a viscous mass containing crystals from white to pale yellow, hardening upon cooling.

2.3.3 Analytical control method

The molecular weight distribution of the obtained polymers and oligomers was evaluated on an «Agilent Technologies 1260 Infinity» gel permeation chromatography. A sample of the oligomer or polymer, where the catalyst is silica gel, of an approximate mass of 0.0044g is dissolved in 1.5ml of chloroform, thoroughly mixed until completely dissolved. For a sample with finely divided silica gel per 1.5ml of ethyl acetate, the mass of the sample was 0.0563g. Next, the sample (20 µl) is injected into the device for analysis.

Table 1 – Расчетные показатели для пробоподготовки

Catalyst	Flask volume, ml	Raw-lactide mass, g	Solvent
Coarse silica gel	1.5	0.0044	Chloroform
Fine silica gel	1.5	0.0563	Ethyl acetate

Analytical control of the processes of lactide synthesis was carried out using gas chromatography, which used the chromatograph Chromos «GC-1000»; The carrier gas was nitrogen obtained by the generator GCA-6; purification of nitrogen from organic impurities was performed by the BOV-1A purification

system; To maintain the flame in a flame-ionization detector, a GHF-6D hydrogen generator was used.

The chromatograph is equipped with an Agilent HP-5 capillary chromatographic column (30mm x 0.320mm). The temperature mode of the column thermostat operates in the mode: heating of 70-260°C for 52 minutes at a speed of 5°C/min., Holding 4 minutes; heating to 280°C for 22 minutes at a speed of 0.9°C/min., holding for 2 minutes; evaporator temperature 280°C, detector temperature 320°C.

A sample is prepared by dissolving the sample in ethyl acetate in an amount of 4% by weight. Then a sample of 4µl is injected into the chromatograph; analysis time is 80 minutes.

2.4 Results discussion

Lactide is a lactic acid (LA) dimer. It is the main raw material in the manufacture of polylactide. This polymer is used to create implants, scaffolds, tires, surgical sutures, braces, clamps, surgical masks, and dressings. In industry, biodegradable polymers are used as food packaging, food bags, and sacks. The issue of creating packages of biodegradable polymers is relevant because people throw away plastic every day, which begins to accumulate in huge masses, which clogs the planet.

In the synthesis process, the depolymerization method of modified LAO was used. Comparing the synthesis technique with the single-reactor method, it should be said about the multi-stage process, where the LAO synthesis takes a separate time, then depolymerization, which results in the raw lactide, and direct purification. A similar technique was proposed previously, but using succinic acid as a modifier.

2.4.1 Lactic acid oligomer synthesis

During the initial synthesis, 2 catalysts were used: coarse and finely divided silica gel. Figures 11 and 12 show chromatograms for coarse and finely dispersed catalysts, respectively.

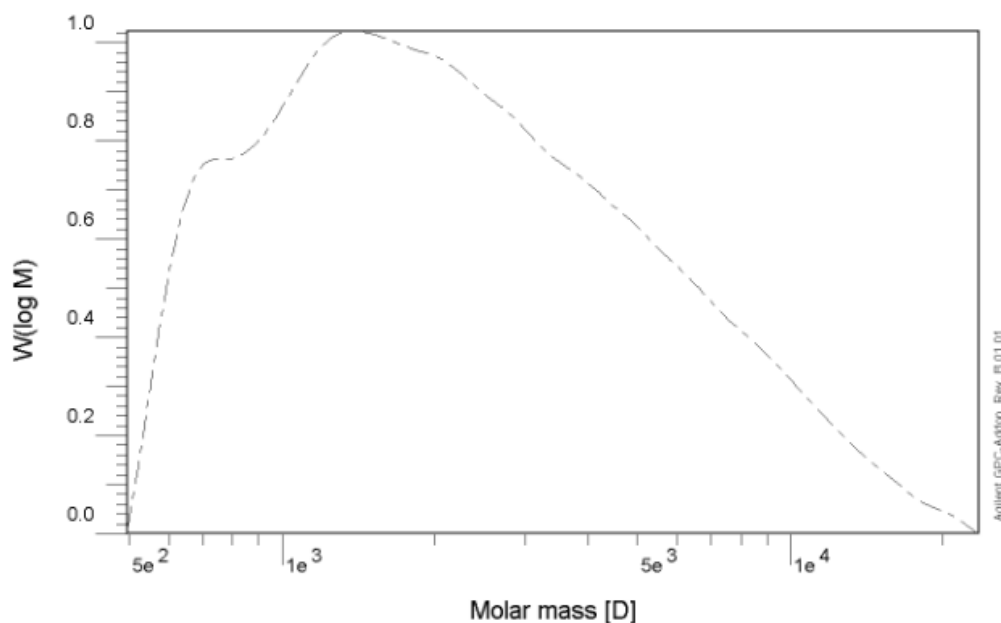


Figure 11 – LAO chromatogram with coarse silica gel catalyst

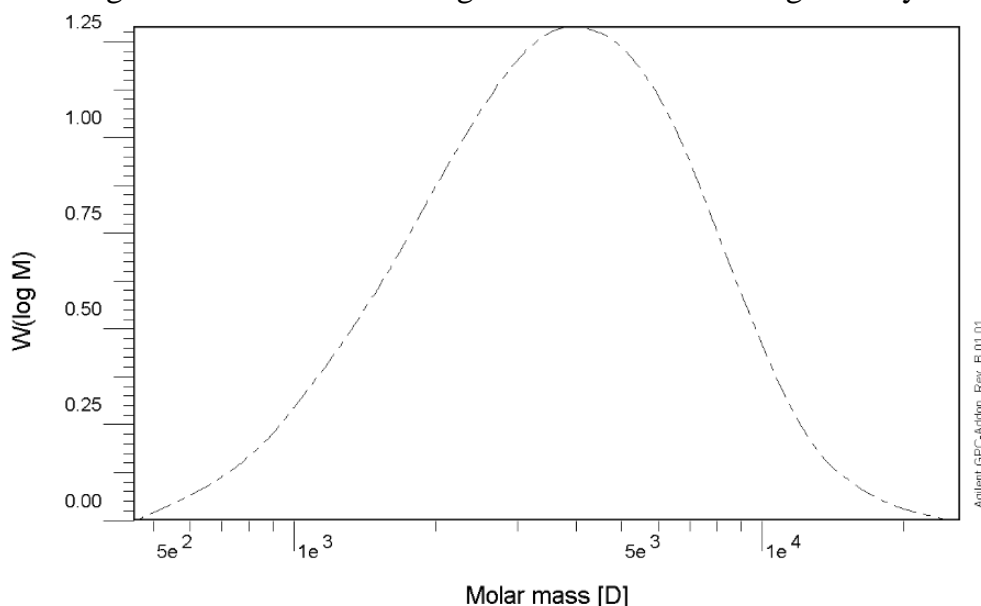


Figure 12 – LAO chromatogram with fine silica gel catalyst

During analytical control, it was determined that finely dispersed silica gel proved to be a more active catalyst since its molecular weight was higher in comparison with coarse silica gel. For coarse silica gel, MW was 1606Da, and for finely dispersed silica gel, 2772Da.

After selecting a catalyst, a modifier, carboxylic acids, was added during the synthesis of LAO. Three carboxylic acids were compared: acetic, butyric, and tartaric.

The data obtained during the synthesis of LAO, depending on the modifier are presented in table 2.

Table 2 – Oligomer yield with modifier

Modifier	Oligomer yield, %
Acetic acid	68
Butyric acid	67
Tartaric acid	68

Analytical data showed that in the synthesis of LAO with the addition of a modifier, there was no significant difference in the oligomer yield. The percentage yield for the three modifiers has no significant divergence.

2.4.2 Lactic acid oligomer depolymerization

In the process of depolymerization of modified LAO 3 synthesis was carried out under the same conditions. This made it possible to visually compare the percentage yield of raw lactide.

The analytical data obtained during the depolymerization of LAO, depending on the modifier, are presented in Table 3, which showed that the highest percentage of the yield of crude lactide occurs during the depolymerization of LAO, where tartaric acid acts as a modifier.

Table 3 – Raw-lactide yield with modifier

Modifier	Raw-lactide yield, %
Acetic acid	41
Butyric acid	42.5
Tartaric acid	59

Chromatograms of lactide for the three modifiers are given below.

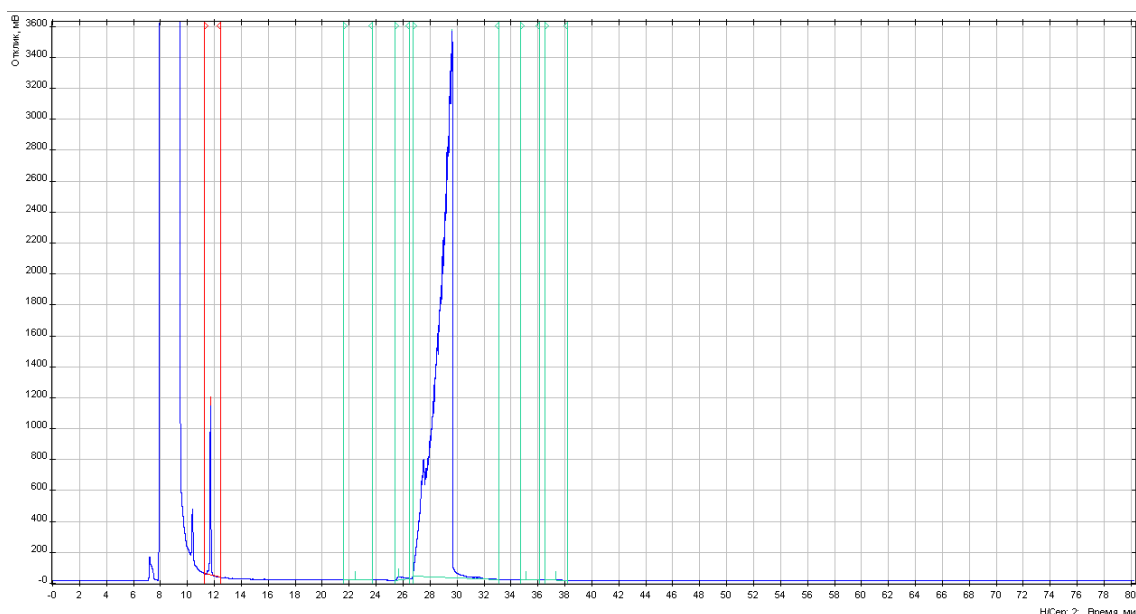


Figure 13 – Raw-lactide chromatogram with acetic acid modifier

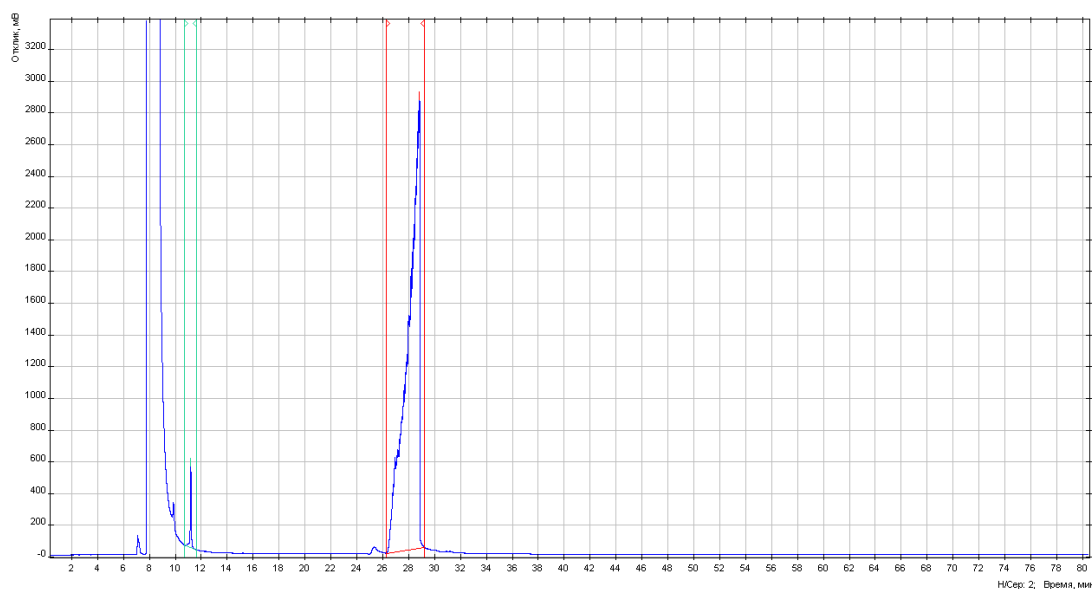


Figure 14 - Raw-lactide chromatogram with butyric acid modifier

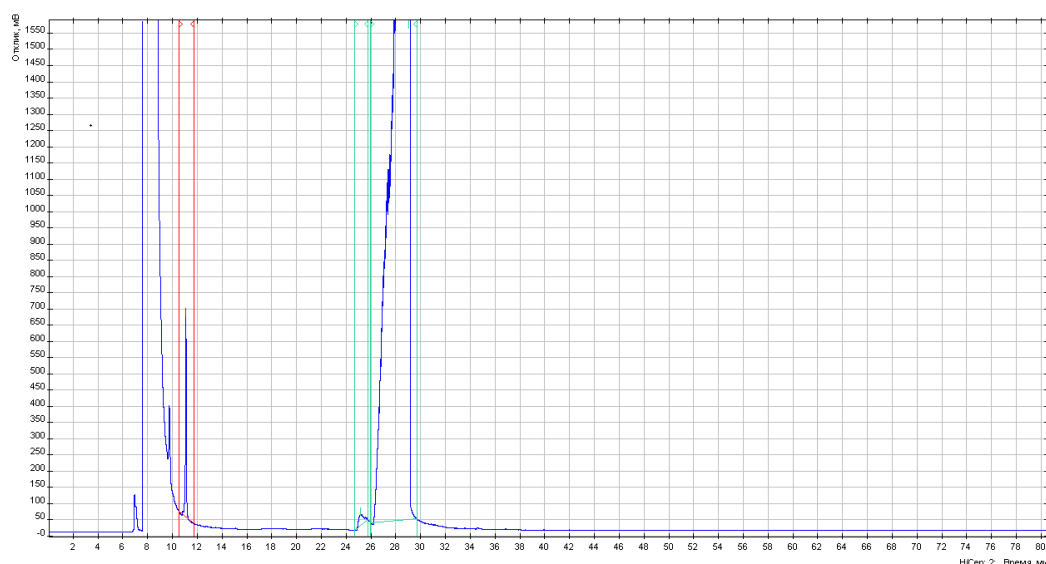


Figure 15 - Raw-lactide chromatogram with tartaric acid modifier

All three chromatograms are characterized a high lactide content in the samples, of the order of 98%.

Conclusion

As a result of the work done, a methodology for producing a lactic acid oligomer using carboxylic acids as a modifier was developed. Upon further depolymerization of the modified LAO, a crude lactide was obtained in good yield. The highest percent yield of crude lactide was found using tartaric acid as a modifier. Thus, the use of these modifiers in the synthesis of LAO allows one to obtain raw lactide of a higher purity in comparison with other methods where succinic acid was used.